

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-107069

(43)Date of publication of application : 21.04.1995

---

(51)Int.Cl. H04J 14/00  
H04J 14/02  
H04B 10/02  
H04B 10/18

---

(21)Application number : 05-242564

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 29.09.1993

(72)Inventor : ISHIKAWA JOJI  
ONAKA HIROSHI  
MIYATA HIDEYUKI  
SEKIYA MOTOYOSHI  
OTSUKA KAZUE

(30)Priority

Priority number : 05198674 Priority date : 10.08.1993 Priority country : JP

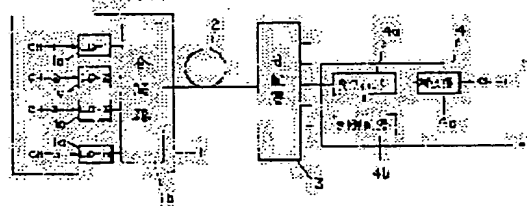
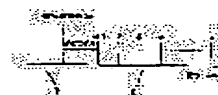
---

**(54) OPTICAL WAVELENGTH MULTIPLEX TRANSMISSION SYSTEM AND OPTICAL DISPERSION COMPENSATION SYSTEM**

**(57)Abstract:**

PURPOSE: To make the capacity of an optical communication system large without being influenced by crosstalk by four light wave mixing FWM by arranging optical signals with a specific efficient channel interval.

CONSTITUTION: Signals from respective channels are multiplexed with high density as signal lights whose frequencies are mutually different in a transmission circuit 1, transmitted through an optical fiber 2, separated in a distributor 3 and detected as the signal lights of the corresponding frequencies by reception circuits 4 corresponding to the respective channels. At the time, so as to suppress the crosstalk amount of the respective channels, the dispersion values of the respective channels are calculated, an optimum distance from a zero dispersion wavelength  $\lambda_0$  is obtained and a guard band 5 is set. Thus, by arranging the signal lights of the respective channels from the  $\lambda_0$  of the optical fiber 2 through the guard band 5, the influence of the FWM is suppressed, the influence from the other channels by the crosstalk is suppressed, a band is efficiently utilized and the capacity of the optical communication system is made large.



---

**LEGAL STATUS**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-107069

(43) 公開日 平成7年(1995)4月21日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J 14/00				
14/02				
H 0 4 B 10/02				
		9372-5K	H 0 4 B 9/ 00	E
		9372-5K		M
審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 41 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平5-242564

(22) 出願日 平成5年(1993)9月29日

(31) 優先権主張番号 特願平5-198674

(32) 優先日 平5(1993)8月10日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72) 発明者 石川 丈二

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士 通株式会社内

(72) 発明者 尾中 寛

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士 通株式会社内

(72) 発明者 宮田 英之

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士 通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 真田 有

最終頁に続く

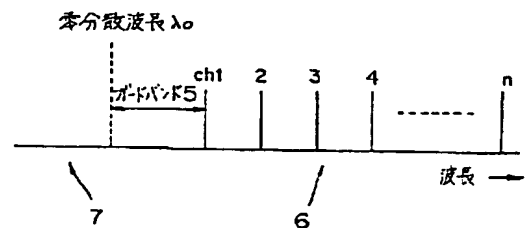
(54) 【発明の名称】 光波長多重伝送方式および光分散補償方式

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、光ファイバの零分散波長周辺の帯域を使用した光波長多重伝送方式に関し、帯域、波長分散及びFWMの影響を考慮して効率のよいチャンネル間隔で光信号を配置することにより、FWMによるクロストークの影響を受けることなく、光通信システムの大容量化を実現することを目的とする。

【構成】 光ファイバを用い、互いに波長の異なる複数チャンネルの光信号を多重化して伝送する際に、光ファイバの零分散波長 $\lambda_0$ を含む所定帯域幅の四光波混合抑圧用ガードバンド5を設定し、多重化すべき複数チャンネルの信号光を、ガードバンド外の短波長側7もしくは長波長側6のいずれか一方の側に配置するように構成する。

本発明の第1実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャンネルの信号光配置を示す図



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ(2)を用い、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送方式において、

該光ファイバ(2)の零分散波長を含む所定帯域幅の四光波混合抑圧用ガードバンド(5)を設定し、

多重化すべき前記複数チャネルの信号光を、該ガードバンド(5)外の短波長側(7)もしくは長波長側(6)のいずれか一方の側に配置することを特徴とする、光波長多重伝送方式。

【請求項2】 光ファイバ(2)を用い、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送方式において、

該光ファイバ(2)の零分散波長を含む所定帯域幅の四光波混合抑圧用ガードバンド(5)を設定し、

多重化すべき前記複数チャネルの信号光を、該ガードバンド(5)外の短波長側(7)および長波長側(6)の両側に配置することを特徴とする、光波長多重伝送方式。

【請求項3】 該ガードバンド(5)の帯域幅が、該光ファイバ(2)の零分散波長に対し短波長側(7)と長波長側(6)とで非対称に設定されていることを特徴とする請求項2記載の光波長多重伝送方式。

【請求項4】 前記複数チャネルの信号光の隣接するチャネル間隔が、該ガードバンド(5)外の短波長側

(7)と長波長側(6)とで互いに異なるように設定されていることを特徴とする請求項2または3に記載の光波長多重伝送方式。

【請求項5】 該ガードバンド(5)外の短波長側

(7)および長波長側(6)のそれぞれにおける前記複数チャネルの信号光の隣接するチャネル間隔が、一定数の整数倍に設定されていることを特徴とする請求項2～4のいずれかに記載の光波長多重伝送方式。

【請求項6】 該ガードバンド(5)をはさんだ前記複数チャネルの信号光の各チャネル間隔が、前記一定数の整数倍に設定されていることを特徴とする請求項5記載の光波長多重伝送方式。

【請求項7】 前記の各チャネルの分散値の絶対値が等しいチャネルの組が1組以下になるように、前記の各チャネルの信号光が配置されていることを特徴とする請求項2～6のいずれかに記載の光波長多重伝送方式。

【請求項8】 光ファイバ(2)を用い、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送方式において、

該光ファイバ(2)の零分散波長 $\lambda_0$ と該光ファイバ

(2)の長手方向の零分散波長ばらつき範囲 $\pm\Delta\lambda_0$ とを考慮し、該光ファイバ(2)についての前記零分散波長ばらつき範囲の短波長端( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ )よりも短波長側に、多重化すべき前記複数チャネルの信号光を配置することを特徴とする、光波長多重伝送方式。

【請求項9】 該光ファイバ(2)についての前記零分散波長ばらつき範囲の短波長端( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ )よりも短波長側に四光波混合抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を設け、波長( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g$ )よりもさらに短波長側に、前記複数チャネルの信号光を配置することを特徴とする請求項8記載の光波長多重伝送方式。

【請求項10】 光ファイバ(2)を用い、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送方式において、

10 該光ファイバ(2)の零分散波長 $\lambda_0$ と該光ファイバ(2)の長手方向の零分散波長ばらつき範囲 $\pm\Delta\lambda_0$ とを考慮し、該光ファイバ(2)についての前記零分散波長ばらつき範囲の長波長端( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ )よりも長波長側に、多重化すべき前記複数チャネルの信号光を配置することを特徴とする、光波長多重伝送方式。

【請求項11】 該光ファイバ(2)についての前記零分散波長ばらつき範囲の長波長端( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ )よりも長波長側に四光波混合抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を設け、波長( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ )よりもさらに長波長側に、前記複数チャネルの信号光を配置することを特徴とする請求項10記載の光波長多重伝送方式。

【請求項12】 該光ファイバ(2)中での自己位相変調と群速度分散との相互効果により決定される許容分散値により規定される伝送可能帯域内に、前記複数チャネルの信号光を配置することを特徴とする請求項8～11のいずれかに記載の光波長多重伝送方式。

【請求項13】 該光ファイバ(2)中での自己位相変調と群速度分散との相互効果により決定される許容分散値により規定される伝送可能帯域外に、前記複数チャネルの信号光を配置し、

30 光分散補償器を用いて該光ファイバ(2)の零分散波長 $\lambda_0$ をシフトさせることにより、前記複数チャネルの信号光を、見かけ上、前記伝送可能帯域内に配置することを特徴とする請求項8～11のいずれかに記載の光波長多重伝送方式。

【請求項14】 該光分散補償器の分散補償量ばらつき範囲 $\pm\delta\lambda_{oc}$ を考慮し、前記複数チャネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{wm}$ を、長波長側および短波長側の両側について前記分散補償量ばらつき範囲 $\delta\lambda_{oc}$ だけ拡張して設定することを特徴とする請求項13記載の光波長多重伝送方式。

【請求項15】 該光ファイバ(2)に接続される光増幅器の利得帯域内に、前記複数チャネルの信号光を配置することを特徴とする請求項8～14のいずれかに記載の光波長多重伝送方式。

【請求項16】 前記複数チャネルの信号光の光波長変動 $\Delta\lambda_{wm}$ を拡張して設定することを特徴とする請求項8～15のいずれかに記載の光波長多重伝送方式。

50 【請求項17】 送信機(21)、中継器(22)およ

3

び受信機(23)を含み該中継器(22)を介して該送信機(21)からの信号光を該受信機(23)へ伝送する光伝送系(20)における分散量を補償する光分散補償方式において、

正負符号の異なる分散量を有する2種類の光分散補償器ユニット(24A, 24B)を予め用意し、

該2種類の光分散補償器ユニット(24A, 24B)をそれぞれ該光伝送系(20)に挿入し、

該光伝送系(20)の伝送特性が良好となる方の光分散補償器ユニットを該2種類の光分散補償器ユニット(24A, 24B)の中から選択して該光伝送系(20)に挿入・設置することを特徴とする、光分散補償方式。

【請求項18】 送信機(21)、中継器(22)および受信機(23)を含み該中継器(22)を介して該送信機(21)からの信号光を該受信機(23)へ伝送する光伝送系(20)における分散量を補償する光分散補償方式において、

正負符号の異なる分散量を有する2種類の光分散補償器ユニット(24A, 24B)を予め用意し、

該光伝送系(20)における分散量を測定し、

測定された分散量の符号とは反対の符号の光分散補償器ユニットを該2種類の光分散補償器ユニット(24A, 24B)の中から選択して該光伝送系(20)に挿入・設置することを特徴とする、光分散補償方式。

【請求項19】 送信機(21)、中継器(22)および受信機(23)を含み該中継器(22)を介して該送信機(21)からの信号光を該受信機(23)へ伝送する光伝送系(20)における分散量を補償する光分散補償方式において、

正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニット(25A, 25B)を予め用意し、

該複数種類の光分散補償器ユニット(25A, 25B)を、設置数、組合せを変えながらそれぞれ該光伝送系(20)に挿入し、

該光伝送系(20)の伝送特性が良好となる設置数、組合せの光分散補償器ユニット(25)を、該複数種類の光分散補償器ユニット(25A, 25B)の中から選択・決定し該光伝送系(20)に挿入・設置することを特徴とする、光分散補償方式。

【請求項20】 送信機(21)、中継器(22)および受信機(23)を含み該中継器(22)を介して該送信機(21)からの信号光を該受信機(23)へ伝送する光伝送系(20)における分散量を補償する光分散補償方式において、

正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニット(25A, 25B)を予め用意し、

該光伝送系(20)における分散量を測定し、

測定された分散量に基づいて、信号光の分散値が伝送可能な分散値内になる設置数、組合せの光分散補償器ユニット(25)を、該複数種類の光分散補償器ユニット

4

(25A, 25B)の中から選択・決定し、該光伝送系(20)に挿入・設置することを特徴とする、光分散補償方式。

【請求項21】 該光伝送系(20)が、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合、

該光伝送系(20)中で、信号光を各波長毎に一波ずつ波長分離し、各波長の信号光のチャネル毎に該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)を設置することを特徴とする請求項17~20のいずれかに記載の光分散補償方式。

【請求項22】 該光伝送系(20)が、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合、

該光伝送系(20)中で、信号光を複数波ずつに分離し、複数波の信号光からなるチャネルグループ毎に該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)を設置することを特徴とする請求項17~20のいずれかに記載の光分散補償方式。

20 【請求項23】 該光伝送系(20)が、互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合、

該光伝送系(20)中で、該複数チャネルの信号光に対し一括して該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)を設置することを特徴とする請求項17~20のいずれかに記載の光分散補償方式。

【請求項24】 該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)に、該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)による光損失を補償しうる光増幅器(26)を付加したことを特徴とする請求項17~23のいずれかに記載の光分散補償方式。

【請求項25】 該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)の前段および後段のそれぞれに該光増幅器(26A, 26B)を付加したことを特徴とする請求項24記載の光分散補償方式。

【請求項26】 該光伝送系(20)における該送信機(21)、該中継器(22)、該受信機(23)の少なくとも一つに、該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)を追加して組み込むことにより、該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)を該光伝送系(20)に挿入・設置することを特徴とする請求項17~25のいずれかに記載の光分散補償方式。

【請求項27】 該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)を基板(27)上に実装したパッケージ(28)として構成し、該パッケージ単位で該光分散補償器ユニット(25, 25A, 25B)の入れ換え・組込みを行なうことを特徴とする請求項26記載の光分散補償方式。

50 【請求項28】 送信機(21)、中継器(22)および受信機(23)を含み該中継器(22)を介して該送

信機(21)からの信号光を該受信機(23)へ伝送する光伝送系(20)における分散量を補償する光分散補償方式において、

該光伝送系(20)における該送信機(21)、該中継器(22)、該受信機(23)の少なくとも一つに、正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニット(25A~25D)を、切換手段(29A~29C)を介して該光分散補償器ユニット(25A~25D)の組合せの切換・変更可能な状態で接続して予め内蔵し、該切換手段(29A~29C)を操作することにより、該複数種類の光分散補償器ユニット(25A~25D)の中から適当な組合せの光分散補償器ユニット(25A~25D)を選択して切り換え該光伝送系(20)に挿入・設置することを特徴とする、光分散補償方式。

【請求項29】 該切換手段(29A~29C)を外側からの制御信号により操作することを特徴とする請求項28記載の光分散補償方式。

【請求項30】 該切換手段(29A~29C)を該受信機(23)側からの制御信号により操作して該光分散補償器ユニット(25A~25D)の組合せを切り換えると同時に、該受信機(23)側に該光伝送系(20)の伝送特性を測定して、該光伝送系(20)の伝送特性が最適となる組合せの光分散補償器ユニット(25A~25D)を決定し、

該受信機(23)側からの制御信号により該切換手段(29A~29C)を操作し、該光分散補償器ユニット(25A~25D)の組合せを、決定された該光伝送系(20)の伝送特性が最適となる組合せに切り換えることを特徴とする請求項29記載の光分散補償方式。

【請求項31】 該切換手段(29A~29C)が、機械的スイッチにより構成されていることを特徴とする請求項28~30のいずれかに記載の光分散補償方式。

【請求項32】 該切換手段(29A~29C)が、光スイッチにより構成されていることを特徴とする請求項28~30のいずれかに記載の光分散補償方式。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(目次)

産業上の利用分野

従来の技術

発明が解決しようとする課題

課題を解決するための手段

作用

実施例

- ・第1実施例の説明(図1~図4)
- ・第2実施例の説明(図5)
- ・第3実施例の説明(図6、図7)
- ・第4実施例の説明(図8)
- ・第5実施例の説明(図9)
- ・第6実施例の説明(図10~図12)

- ・第7実施例の説明(図13~図22)
- ・第8実施例の説明(図23~図25)
- ・第9実施例の説明(図26)
- ・第10実施例の説明(図27)
- ・第11実施例の説明(図28~図30)
- ・第12実施例の説明(図31~図33)
- ・第13実施例の説明(図34~図36)
- ・第14実施例の説明(図37~図40)
- ・第15実施例の説明(図41~図43)

## 10 発明の効果

【0002】

【産業上の利用分野】本発明は、光ファイバの零分散波長周辺の帯域を使用した波長多重伝送方式に関するとともに、例えばエルビウムドープ光ファイバ増幅器(Er-Doped Fiber Amplifier: 以下、EDFAという)を用いた長距離・超高速光通信システムにおいて、伝送距離と伝送速度との制限要因の一つである自己位相変調と波長分散(群速度分散)との相互効果(以下、SPM-GVD効果という)による波形劣化を補償する光分散補償方式に関する。

【0003】

【従来の技術】近年の飛躍的な情報量の増加に伴って、大容量の通信システムが必要となっており、現在、この通信システムの構築のための研究も活発に行なわれている。このような通信システムの大容量化を実現するには、光通信システムによる実現が最も有望視されており、例えば、現在では2.4Gb/sの光通信システムとともに、EDFAを用いた光増幅多中継システムが実用化されつつあるが、今後、さらに進行する情報化に伴い、情報量はますます増加することが予想され、この情報量の増加に対応して大容量化された光通信システム構築が望まれるところである。

【0004】光通信システムの大容量化の方法としては、伝送速度の高速化という意味で時間軸上での多重化をはかるTDM(時分割多重)方式や、光周波数軸上での多重化をはかるWDM[波長分割多重; 一般に、波長間隔の比較的広いものをWDM方式、高密度多重したものをFDM(周波数分割多重)方式と呼んでいる]方式が挙げられる。

40 【0005】このうち、TDMのような多重化においては、伝送速度を高速化させるため、送信機、受信機内の電子回路の高速化が必要となり、現状では数十Gb/sが限界と考えられている。一方、光ファイバの広帯域性を利用したWDM(FDM)方式では、伝送速度の高速化と併用することで、数十~数百Gb/sの大容量化が可能であり、光カプラ、光フィルタ等を用いた光多重化装置、光分離装置(MUX/DEMUX)により、多重・分離が光領域で簡単に行なえるため電子回路に対する負担も軽減される。

50 【0006】ここで、光周波数軸上で波長多重して伝送

するWDM (FDM) 方式では、光アンプの利得帯域依存性や光部品の波長依存性があるため、使用可能な帯域が制限される。従って、多重化による大容量化のためにはチャンネル間隔を狭くして全チャンネルの示す帯域を狭くする必要がある。また、マルチギガビットの光伝送では、光ファイバの分散による波形劣化が生じるため、光信号の波長を光ファイバの零分散波長の周辺に設定する必要がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような大容量化を図るためにWDM (FDM) 方式を適用した光通信システムにおいては、帯域を考慮してチャンネル間隔を狭くし、波長分散を考慮して光ファイバの零分散波長付近に光信号を並べると光ファイバの非線形効果、特に四光波混合〔以下、FWM (Four Wave Mixing) という〕の影響が顕著になり、このFWMによる他チャンネルからのクロストークのために伝送不能となってしまうという課題がある。また、既存の伝送路のグレードアップ等で波長多重伝送を零分散波長周辺の帯域で行なわなければならない場合でも、同様の課題がある。

【0008】また、特に、光ファイバの零分散波長付近の帯域を利用した光増幅多中継WDM方式における伝送特性の劣化要因として、前述したFWMによるクロストークが指摘されている。このFWMの発生効率は、光ファイバ伝送路の零分散波長とチャンネル配置との関係によって決まる。WDM方式における光ファイバの所要特性としては、①零分散波長、②零分散波長のばらつき、③分散傾斜 (二次分散) の3つが挙げられ、これらは、

(a)波長多重信号帯域、(b)光増幅器の中でもEDFAの利得帯域、(c)本発明にかかるFWM抑圧用のガードバンド、(d)SPM-GVD効果による制限帯域、(e)光分散補償器の挿入の有無、以上の5要素と密接に関係している。

【0009】ところで、光通信システムの長距離化および高速化を制限する要因には、光ファイバ損失による損失制限と波長分散による帯域制限とがある。損失制御は、EDFAの出現によりほぼ解決され、数千km以上の超長距離光通信システムの構築も可能になってきている。しかし、多中継光増幅システムにおける中継間隔は、主に、①各光増幅中継器でのASE (自然放出光: Spontaneous Emission) 累積による光SNR (Signal to Noise Ratio)劣化と、②Kerr効果を介したSPM-GVD効果による波形劣化との2つの要因で制限される。

【0010】これらのうち②のSPM-GVD効果による波形劣化は光ファイバ伝送路と正負反対符号の分散値をもつ光分散補償器を用いて補償できることは既知であり、そのSPM-GVD効果による波形劣化および分散補償効果は、スプリット・ステップ・フーリエ法を用いて非線形シュレディンガー方程式を解くことにより容易にシミュレーション可能である。

【0011】上述の目的で用いられる光分散補償器には、それぞれの中継区間の光ファイバ分散量に対応可能であること、最適分散補償量を実現するまでの工数削減および時間短縮、且つ、低コスト化が可能であることが要求される。また、光分散補償技術は、現在敷設中の1.55 $\mu$ m分散シフトファイバ (以下、DSFという) 伝送路網だけでなく、既設の1.3 $\mu$ mシングルモードファイバ (以下、SMFという) 伝送路網を利用した長距離・超高速光通信システムや、WDM (FDM) 方式の光通信システムにおいても重要である。

【0012】数千km以上の超長距離光通信システムの場合、分散ペナルティーを回避するには光ファイバ伝送路の零分散波長 $\lambda_0$ を用い、非線形効果を最小限に抑えるには光ファイバの正常分散領域 (分散値 $D<0$ ) を用いるのが望ましいとされている。この相反する条件を満たすために、伝送路としては正常分散領域を用い、光分散補償器を用いることで、見かけの分散値を零にする手段が提案されている。また、この光分散補償技術は、DSF伝送だけでなく、約18ps/nm/kmの大きな分散値を有するSMF伝送にも有効である。

【0013】光分散補償器としては、これまで、分散補償ファイバ、トランスバーサルフィルタタイプ、光共振器タイプ等が提案されている。現状では、ファイバ長を変えることで分散補償量を容易に調節することができるという利点から分散補償ファイバが有望視されており、コア形状を工夫することで、分散値-100ps/(nm $\cdot$ km)以上が得られている。

【0014】実際の光ファイバ伝送路の零分散波長は長手方向にばらついており、さらに、陸上の光通信システムでは、海底光通信システムのように中継間隔を一定に設定するのは難しいため、各中継区間の分散量は必ずしも一定ではない。そのため、理想的には、各中継区間毎に実際の分散量を測定してから最適な分散補償量を有する光分散補償器を挿入することが望ましいが、このような作業では、分散量測定を含めて、最適な光分散補償器を実現するまでの工数、時間、コストがかかりすぎるという課題があった。

【0015】本発明はこのような課題に鑑み創案されたもので、まず、本発明の第1の目的は、光ファイバの零分散波長周辺の帯域を使用する場合に、帯域、波長分散及びFWMの影響を考慮して効率のよいチャンネル間隔で光信号を配置することにより、FWMによるクロストークの影響を受けることなく、光通信システムの大容量化を実現した光波長多重伝送方式を提供することにある。

【0016】また、本発明の第2の目的は、前述した光ファイバの所要特性 (特に零分散波長とそのばらつき) と、前記5要素との関連性を明確にし、光増幅多中継WDM方式における信号光のチャンネル配置法および伝送路設計法を確立できるようにした光波長多重伝送方式を提供することにある。さらに、本発明の第3の目的は、個

々の伝送路に応じた光分散補償器を設計・製作することなく、SPM-GVD効果による波形劣化を容易に補償できるようにするほか、光パワーがあまり大きくない場合にはSPMはあまり起こらず波長分散(GVD)による波形劣化のみが生じることもあるが、この場合にも有効に分散補償を行なえるようにして、光通信システム構築までの工数削減および時間短縮をはかるとともに、低コスト化を実現した光分散補償方式を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】このため、本発明の光波長多重伝送方式(請求項1)は、光ファイバを用い、互いに波長の異なる複数チャンネルの信号光を多重化して伝送するものにおいて、該光ファイバの零分散波長を含む所定帯域幅の四光波混合抑圧用ガードバンドを設定し、多重化すべき前記複数チャンネルの信号光を、該ガードバンド外の短波長側もしくは長波長側のいずれか一方の側に配置することを特徴としている。

【0018】また、本発明の光波長多重伝送方式(請求項2)は、光ファイバを用い、互いに波長の異なる複数チャンネルの信号光を多重化して伝送するものにおいて、該光ファイバの零分散波長を含む所定帯域幅の四光波混合抑圧用ガードバンドを設定し、多重化すべき前記複数チャンネルの信号光を、該ガードバンド外の短波長側および長波長側の両側に配置することを特徴としている。

【0019】そして、前記複数チャンネルの信号光を該ガードバンド両側に配置する場合、該ガードバンドの帯域幅を、該光ファイバの零分散波長に対し短波長側と長波長側とで非対称に設定してもよい(請求項3)、前記複数チャンネルの信号光の隣接するチャンネル間隔を、該ガードバンド外の短波長側と長波長側とで互いに異なるように設定してもよい(請求項4)。

【0020】同様に、前記複数チャンネルの信号光を該ガードバンド両側に配置する場合、該ガードバンド外の短波長側および長波長側のそれぞれにおける前記複数チャンネルの信号光の隣接するチャンネル間隔を、一定数の整数倍に設定してもよい(請求項5)。このとき、該ガードバンドをはさんだ前記複数チャンネルの信号光の各チャンネル間隔を、前記一定数の整数倍に設定してもよい(請求項6)。さらに、前記の各チャンネルの分散値の絶対値が等しいチャンネルの組が1組以下になるように、前記の各チャンネルの信号光を配置してもよい(請求項7)。

【0021】一方、本発明の光波長多重伝送方式(請求項8)は、光ファイバを用い、互いに波長の異なる複数チャンネルの信号光を多重化して伝送するものにおいて、該光ファイバの零分散波長 $\lambda_0$ と該光ファイバの長手方向の零分散波長ばらつき範囲 $\pm\Delta\lambda_0$ とを考慮し、該光ファイバについての前記零分散波長ばらつき範囲の短波長端( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ )よりも短波長側に、多重化すべき前記複数チャンネルの信号光を配置することを特徴としてい

る。このとき、該光ファイバについての前記零分散波長ばらつき範囲の短波長端( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ )よりも短波長側に四光波混合抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を設け、波長( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g$ )よりもさらに短波長側に、前記複数チャンネルの信号光を配置してもよい(請求項9)。

【0022】また、本発明の光波長多重伝送方式(請求項10)は、光ファイバを用い、互いに波長の異なる複数チャンネルの信号光を多重化して伝送するものにおいて、該光ファイバの零分散波長 $\lambda_0$ と該光ファイバの長手方向の零分散波長ばらつき範囲 $\pm\Delta\lambda_0$ とを考慮し、該光ファイバについての前記零分散波長ばらつき範囲の長波長端( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ )よりも長波長側に、多重化すべき前記複数チャンネルの信号光を配置することを特徴としている。このとき、該光ファイバについての前記零分散波長ばらつき範囲の長波長端( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ )よりも長波長側に四光波混合抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を設け、波長( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ )よりもさらに長波長側に、前記複数チャンネルの信号光を配置してもよい(請求項11)。

【0023】また、この場合、該光ファイバ中での自己位相変調と群速度分散との相互効果により決定される許容分散値により規定される伝送可能帯域内に、前記複数チャンネルの信号光を配置してもよい(請求項12)、該光ファイバ中での自己位相変調と群速度分散との相互効果により決定される許容分散値により規定される伝送可能帯域外に、前記複数チャンネルの信号光を配置し、光分散補償器を用いて該光ファイバの零分散波長 $\lambda_0$ をシフトさせることにより、前記複数チャンネルの信号光を、見かけ上、前記伝送可能帯域内に配置してもよい(請求項13)。

【0024】さらに、光分散補償器を用いる場合、該光分散補償器の分散補償量ばらつき範囲 $\pm\delta\lambda_{DC}$ を考慮し、前記複数チャンネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{DOM}$ を、長波長側および短波長側の両側について前記分散補償量ばらつき範囲 $\delta\lambda_{DC}$ だけ拡張して設定してもよい(請求項14)。またさらに、該光ファイバに接続される光増幅器の利得帯域内に、前記複数チャンネルの信号光を配置してもよい(請求項15)、前記複数チャンネルの信号光の光波長変動分に応じて、前記複数チャンネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{DOM}$ を拡張して設定してもよい(請求項16)。

【0025】ところで、本発明の光分散補償方式(請求項17)は、送信機、中継器および受信機を含み該中継器を介して該送信機からの信号光を該受信機へ伝送する光伝送系における分散量を補償するものにおいて、正負符号の異なる分散量を有する2種類の光分散補償器ユニットを予め用意し、該2種類の光分散補償器ユニットをそれぞれ該光伝送系に挿入し、該光伝送系の伝送特性が良好となる方の光分散補償器ユニットを該2種類の光分

散補償器ユニットの中から選択して該光伝送系に挿入・設置することを特徴としている。

【0026】また、本発明の光分散補償方式（請求項18）は、送信機、中継器および受信機を含み該中継器を介して該送信機からの信号光を該受信機へ伝送する光伝送系における分散量を補償するものにおいて、正負符号の異なる分散量を有する2種類の光分散補償器ユニットを予め用意し、該光伝送系における分散量を測定し、測定された分散量の符号とは反対の符号の光分散補償器ユニットを該2種類の光分散補償器ユニットの中から選択して該光伝送系に挿入・設置することを特徴としている。

【0027】さらに、本発明の光分散補償方式（請求項19）は、送信機、中継器および受信機を含み該中継器を介して該送信機からの信号光を該受信機へ伝送する光伝送系における分散量を補償するものにおいて、正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニットを予め用意し、該複数種類の光分散補償器ユニットを、設置数、組合せを変えながらそれぞれ該光伝送系に挿入し、該光伝送系の伝送特性が良好となる設置数、組合せの光分散補償器ユニットを、該複数種類の光分散補償器ユニットの中から選択・決定し該光伝送系に挿入・設置することを特徴としている。

【0028】またさらに、本発明の光分散補償方式（請求項20）は、送信機、中継器および受信機を含み該中継器を介して該送信機からの信号光を該受信機へ伝送する光伝送系における分散量を補償するものにおいて、正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニットを予め用意し、該光伝送系における分散量を測定し、測定された分散量に基づいて、信号光の分散値が伝送可能な分散値内になる設置数、組合せの光分散補償器ユニットを、該複数種類の光分散補償器ユニットの中から選択・決定し、該光伝送系に挿入・設置することを特徴としている。

【0029】上述した光分散補償方式における光伝送系が、互いに波長の異なる複数チャンネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合、該光伝送系中で、信号光を各波長毎に一波ずつ波長分離し、各波長の信号光のチャンネル毎に該光分散補償器ユニットを設置してもよいし（請求項21）、該光伝送系中で、信号光を複数波ずつに分離し、複数波の信号光からなるチャンネルグループ毎に該光分散補償器ユニットを設置してもよいし（請求項22）、該光伝送系中で、該複数チャンネルの信号光に対し一括して該光分散補償器ユニットを設置してもよい（請求項23）。

【0030】また、上述した光分散補償方式における光分散補償器ユニットに、該光分散補償器ユニットによる光損失を補償しうる光増幅器を付加してもよく（請求項24）、このとき、該光分散補償器ユニットの前段および後段のそれぞれに該光増幅器を付加してもよい（請求

項25）。さらに、上述した光伝送系における該送信機、該中継器、該受信機の少なくとも一つに、該光分散補償器ユニットを追加して組み込むことにより、該光分散補償器ユニットを該光伝送系に挿入・設置してもよく（請求項26）、このとき、該光分散補償器ユニットを基板上に実装したパッケージとして構成し、該パッケージ単位で該光分散補償器ユニットの入換え・組込みを行なうようにしてもよい（請求項27）。

【0031】また、本発明の光分散補償方式（請求項28）は、送信機、中継器および受信機を含み該中継器を介して該送信機からの信号光を該受信機へ伝送する光伝送系における分散量を補償するものにおいて、該光伝送系における該送信機、該中継器、該受信機の少なくとも一つに、正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニットを、切換手段を介して該光分散補償器ユニットの組合せの切換・変更可能な状態で接続して予め内蔵し、該切換手段を操作することにより、該複数種類の光分散補償器ユニットの中から適当な組合せの光分散補償器ユニットを選択して切り換え該光伝送系に挿入・設置することを特徴としている。

【0032】そして、該切換手段を外部からの制御信号により操作してもよく（請求項29）、このとき、該切換手段を該受信機側からの制御信号により操作して該光分散補償器ユニットの組合せを切り換えると同時に、該受信機側にて該光伝送系の伝送特性を測定して、該光伝送系の伝送特性が最適となる組合せの光分散補償器ユニットを決定し、該受信機側からの制御信号により該切換手段を操作し、該光分散補償器ユニットの組合せを、決定された該光伝送系の伝送特性が最適となる組合せに切り換えてもよい（請求項30）。

【0033】また、上述した切換手段を、機械的スイッチにより構成してもよいし（請求項31）、光スイッチにより構成してもよい（請求項32）。

【0034】

【作用】上述した本発明の光波長多重伝送方式（請求項1）では、光ファイバを用い互いに波長の異なる複数チャンネルの信号光を多重化して伝送するが、その際、多重化すべき複数チャンネルの信号光が、光ファイバの零分散波長を含む所定帯域幅の四光波混合抑圧用ガードバンド外の短波長側もしくは長波長側のいずれか一方の側に配置されることにより、FWMが抑圧されてクロストークによる他チャンネルからの影響が抑制される。

【0035】また、上述した本発明の光波長多重伝送方式（請求項2）では、多重化すべき複数チャンネルの信号光が、四光波混合抑圧用ガードバンド外の短波長側および長波長側の両側に配置されることにより、FWMが抑圧されてクロストークによる他チャンネルからの影響が抑制されると同時に、効率の良い帯域利用が可能になる。

【0036】このとき、ガードバンドの帯域幅を、光ファイバの零分散波長に対し短波長側と長波長側とで非対



称に設定したり（請求項3）、複数チャネルの信号光の隣接するチャネル間隔を、ガードバンド外の短波長側と長波長側とで互いに異なるように設定したりすることにより（請求項4）、ガードバンドの短波長側の信号光と長波長側の信号光との間で生じるFWM光が、信号光波長と一致するのを防止している。

【0037】また、ガードバンド外の短波長側および長波長側のそれぞれにおける複数チャネルの信号光の隣接するチャネル間隔を、一定数の整数倍に設定することにより（請求項5）、クロストークによる他チャネルからの影響を抑制しながら、ガードバンド外の短波長側および長波長側のそれぞれにおけるチャネルを、同じ特性のファブリ・ペロ干渉計で制御することができる。

【0038】特に、このとき、ガードバンドをはさんだ複数チャネルの信号光の各チャネル間隔を前記一定数の整数倍に設定することにより（請求項6）、ガードバンド外の短波長側および長波長側の両側のチャネルを、同じ特性の一つのファブリ・ペロ干渉計で制御することができる。さらに、各チャネルの分散値の絶対値が等しいチャネルの組が1組以下になるように各チャネルの信号光を配置することにより（請求項7）、FWMが抑圧されてクロストークによる他チャネルからの影響をさらに抑制できる。

【0039】一方、上述した本発明の光波長多重伝送方式（請求項8）では、光ファイバを用い互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送するが、その際、零分散波長ばらつき範囲の短波長端（ $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ ）よりも短波長側に、多重化すべき複数チャネルの信号光を配置することにより、零分散波長の短波長側において、光ファイバの長手方向の零分散波長ばらつきが考慮・管理されることになる。

【0040】このとき、四光波混合抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を考慮し、波長（ $\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g$ ）よりもさらに短波長側に、複数チャネルの信号光を配置することにより（請求項9）、零分散波長の短波長側において、光ファイバの長手方向の零分散波長ばらつきが考慮・管理されると同時に、クロストークによる他チャネルからの影響が抑制される。

【0041】また、上述した本発明の光波長多重伝送方式（請求項10）では、光ファイバを用い互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送するが、その際、前記零分散波長ばらつき範囲の長波長端（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ ）よりも長波長側に、多重化すべき複数チャネルの信号光を配置することにより、零分散波長の長波長側において、光ファイバの長手方向の零分散波長ばらつきが考慮・管理されることになる。

【0042】このとき、四光波混合抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を考慮し、波長（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）よりもさらに長波長側に、複数チャネルの信号光を配置することにより（請求項11）、零分散波長の長波長側におい

て、光ファイバの長手方向の零分散波長ばらつきが考慮・管理されると同時に、クロストークによる他チャネルからの影響が抑制される。

【0043】また、光ファイバ中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値により規定される伝送可能帯域内に、複数チャネルの信号光を配置することにより（請求項12）、SPM-GVD効果による波形劣化を考慮した信号光配置を行なうことができる。また、光パワーがあまり大きくない場合にはSPMはあまり起こらず波長分散（GVD）による波形劣化のみ生じるが、この場合の波形劣化を考慮した信号光配置を行なうこともできる。

【0044】光ファイバ中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値により規定される伝送可能帯域外に、複数チャネルの信号光を配置した場合でも、光分散補償器を用いて光ファイバの零分散波長 $\lambda_0$ をシフトさせ、複数チャネルの信号光を、見かけ上、前記伝送可能帯域内に配置することにより（請求項13）、SPM-GVD効果による波形劣化を考慮した信号光配置を行なうことができる。

【0045】さらに、光分散補償器を用いる場合、複数チャネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{\text{DDM}}$ を、長波長側および短波長側の両側について光分散補償器の分散補償量ばらつき範囲 $\delta\lambda_{\text{DC}}$ だけ拡張して設定することにより（請求項14）、光分散補償器の分散補償量ばらつきが考慮される。またさらに、光ファイバに接続される光増幅器の利得帯域内に、複数チャネルの信号光を配置することにより（請求項15）、各信号光パワーを等しくでき、各信号光の受信特性を等しくすることができるほか、複数チャネルの信号光の光波長変動分に応じて、複数チャネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{\text{DDM}}$ を拡張して設定することにより（請求項16）、信号光の光源の製造性や波長制御精度による各信号光の変動が考慮される。

【0046】ところで、上述した本発明の光分散補償方式（請求項17）では、前もって正負符号の異なる分散量を有する2種類の光分散補償器ユニットを用意しておき、それぞれを光伝送系に挿入し、伝送特性が良好な方の光分散補償器ユニットを選択することにより、正確な分散量を測定できず且つ零分散波長ばらつきをある程度把握できている場合に対応して、光伝送系の分散量を簡易的に補償することができる。

【0047】また、上述した本発明の光分散補償方式（請求項18）では、前もって正負符号の異なる分散量を有する2種類の光分散補償器ユニットを用意しておき、光伝送系の分散量を測定できる場合には、その分散量を測定し、測定された分散量の符号とは反対の符号の光分散補償器ユニットを選択することで、より確実に光伝送系の分散量を補償することができる。

【0048】さらに、上述した本発明の光分散補償方式

(請求項19)では、前もって正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニットを用意しておき、光分散補償器ユニットをその設置数、組合せを変えながらそれぞれ光伝送系に挿入し、光伝送系の伝送特性が良好となる設置数、組合せの光分散補償器ユニットを選択することにより、零分散波長ばらつきが不明である場合や、零分散波長と信号光波長とが大きく離れている場合に対応して、光伝送系の分散量を簡易的に且つ最適に補償することができる。

【0049】またさらに、上述した本発明の光分散補償方式(請求項20)では、前もって正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニットを用意しておき、光伝送系の分散量を測定できる場合には、その分散量を測定し、測定された分散量に基づいて、最適な設置数、組合せの光分散補償器ユニットを選択することにより、光伝送系の分散量が確実に許容分散値以内に収まるように補償することができる。

【0050】そして、上述した光伝送系が互いに波長の異なる複数チャネルの信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合、各波長毎に(請求項21)、複数波の信号光からなるチャネルグループ毎に(請求項22)、あるいは、複数チャネルの信号光に対し一括して(請求項23)、光分散補償器ユニットを設置することができる。

【0051】また、上述した光分散補償器ユニットに光増幅器を付加することにより(請求項24)、光分散補償器ユニットによる光損失を補償することができる。このとき、光分散補償器ユニットの前段および後段のそれぞれに光増幅器を付加することにより(請求項25)、前段の光増幅器の雑音指数〔以下、NF (Noise Figure) という〕を小さくすることができる。

【0052】さらに、上述した光伝送系における送信機、中継器、受信機の少なくとも一つに、光分散補償器ユニットを追加して組み込むことにより(請求項26)光分散補償器ユニットを光伝送系に挿入・設置することができ、このとき、光分散補償器ユニットをプリント基板上に実装したパッケージとして構成することで(請求項27)、パッケージ単位で光分散補償器ユニットの入換え・組込みを容易に行なえ、つまりは、分散補償量を容易に変更することができる。

【0053】また、上述した本発明の光分散補償方式(請求項28)では、光伝送系における送信機、中継器、受信機の少なくとも一つに、正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニットを、切換手段を介して光分散補償器ユニットの組合せの切換・変更可能な状態で接続して予め内蔵しておくことにより、その切換手段を操作することで、複数種類の光分散補償器ユニットの中から適当な組合せの光分散補償器ユニットが選択される。

【0054】そして、切換手段は外部からの制御信号に

より操作することができ(請求項29)、特に、このとき、切換手段を受信機側からの制御信号により操作して光分散補償器ユニットの組合せを切り換えると同時に、受信機側にて光伝送系の伝送特性を測定し、光伝送系の伝送特性が最適となる組合せの光分散補償器ユニットを決定し、受信機側からの制御信号により切換手段を操作することにより(請求項30)、光分散補償器ユニットの組合せが、光伝送系の伝送特性が最適となる組合せに自動的に切り換えられる。

【0055】なお、上述した切換手段としては、機械的スイッチ(請求項31)や光スイッチ(請求項32)を用いることができる。

【0056】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。

(A) 第1実施例の説明

図1～図4は本発明の第1実施例としての光波長多重伝送方式を示すもので、図1はその複数チャネルの信号光配置を示す図、図2はその光波長多重伝送方式を適用される光WDM(FDM)分配伝送系の構成を示すブロック図、図3および図4はいずれもその動作を説明する図である。

【0057】まず、図2により本実施例の光波長多重伝送方式を適用される光WDM分配伝送系について説明すると、この図2において、1は送信回路であり、この送信回路1は、複数のチャネルからの信号を、互いに周波数(波長)の異なる信号光として高密度に多重化するものである。この送信回路1は、各チャネル(CH-1～CH-n)毎に設けられたレーザダイオード(LD-1～LD-n)1aと、各チャネル毎のレーザダイオード1aからの信号光を受けてこれらの信号光を多重化するための合波1bとをそなえて構成されている。

【0058】2は送信回路1からの多重化された信号光を伝送するための光ファイバ、3は光ファイバ2からの信号を各チャネルに分配する分配器、4は各チャネルCH-i(i=1～n)毎に設けられ該当する周波数(波長)の信号光を受信する受信回路で、各受信回路4は、多重化された信号光から対応する信号を抽出して出力する光フィルタ4aと、光フィルタ4aを制御する制御回路4bと、光フィルタ4aからの信号光を検出する検出器4cとをそなえて構成されている。

【0059】ところで、光ファイバ2の非線形効果としてのFWMは、光ファイバ2の零分散波長周辺の帯域を用いて、互いに周波数(波長)の異なる信号光を送信回路1にて多重化して光ファイバ2に入力した時に、信号光間の光周波数混合により発生する現象で、他チャネルからのクロストーク(漏話)の要因となって信号伝送特性を劣化させている。

【0060】光ファイバ2の零分散波長周辺の帯域を用いた光WDM(FDM)伝送において、最も厳しい影響

17

を与えるの光ファイバ2の非線形効果であるFWMである。このFWMについてより詳細に説明すべく、FWMの影響を考慮して行なわれる必要があるシステムの設計、特に、チャンネル間隔、チャンネル配置、入力パワーについて以下に説明する。

【0061】例えば、周波数  $f_i \sim f_n$  (波長  $\lambda_i \sim \lambda_n$ ) の信号光を入力した場合、この中の任意の3波  $f_i, f_j, f_k$  ( $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k$ ) により、光ファイバ2の3次の非線形感受率  $\chi_{iiii}$  を介して発生した周\*

$$f_{ijk} = f_i + f_j - f_k \quad (\lambda_{ijk} = \lambda_i + \lambda_j - \lambda_k) \quad (1)$$

また、周波数  $f_{ijk}$  (波長  $\lambda_{ijk}$ ) の発生効率が高くなるのは零分散波長近傍で、各周波数  $f_i, f_j, f_k, f_{ijk}$  (各波長  $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k, \lambda_{ijk}$ ) の位相関係により効率が変化する(後で述べる位相不整合量  $\Delta\beta$  が※

$$P_{ijk} = \eta_{ijk} \cdot \{ (1024\pi^6 \cdot \chi_{iiii}^2 \cdot d^2) / (n^4 \cdot \lambda^2 \cdot c^2) \} \cdot (L_{eff} / A_{eff})^2 \cdot P_i \cdot P_j \cdot P_k \cdot \exp(-\alpha L) \quad (2)$$

ただし、 $\eta_{ijk}$  は周波数  $f_{ijk}$  (波長  $\lambda_{ijk}$ ) の発生効率、 $\chi_{iiii}$  は3次の非線形感受率、 $d$  は縮退係数 ( $i \neq j \neq k$  の時、 $d=6$ 、 $i=j \neq k$  の時、 $d=3$ )、 $n$  はコアの屈折率、 $\lambda$  は信号波長、 $c$  は光速、 $L_{eff}$  は次式(3)により与えられる実効光ファイバ長、 $A_{eff}$  は実★

$$L_{eff} = \{1 - \exp(-\alpha L)\} / \alpha \quad (3)$$

ここで、発生効率  $\eta_{ijk}$  ( $=\eta$ ) は次式(4)で表される。

$$\eta = \alpha^2 \cdot [1 + 4\exp(-\alpha L) \cdot \sin^2(\Delta\beta L/2) / \{1 - \exp(-\alpha L)\}^2] / (\alpha^2 + \Delta\beta^2) \quad (4)$$

なお、 $L$  は光ファイバ長、 $\Delta\beta$  は位相不整合量である。また、光ファイバ2の分散スロープ  $dD/d\lambda$  が波長に對して一定であるとする、位相不整合量  $\Delta\beta$  は次式 ☆

$$\Delta\beta = (\pi\lambda^4 / 3c^2) \cdot (dD/d\lambda) \cdot \{ (f_i + f_j - f_k - f_0)^3 - (f_i - f_0)^3 - (f_j - f_0)^3 + (f_k - f_0)^3 \} \quad (5)$$

(b)  $f_i = f_j \neq f_k$  ( $\lambda_i = \lambda_j \neq \lambda_k$ ) の場合

$$\Delta\beta = (\pi\lambda^4 / c^2) \cdot (dD/d\lambda) \cdot 2 \cdot (f_i - f_0) \cdot (f_i - f_k)^2 \quad (6)$$

ここで、 $D$  は光ファイバの波長分散、 $dD/d\lambda$  は2次の光ファイバの波長分散、 $f_0$  は零分散光周波数である。ただし、上記(5)、(6)式における周波数  $f_i, f_j, f_k, f_0$  をそれぞれ波長  $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k, \lambda_0$  に置き換えたものも、上式と同様に成立する。

【0066】多チャンネルの場合、周波数  $f_{ijk}$  (波長  $\lambda_{ijk}$ ) の位置に発生するFWMの  $i, j, k$  の組み合わせを求め、各々について光電力  $P_{ijk}$  を求める。そして、その総和が周波数  $f_{ijk}$  (波長  $\lambda_{ijk}$ ) の位置に発生するFWMの光パワーとなる。その光パワーの総和を用いてクロストーク量  $CR$  は次式(7)のように与えられる。

【0067】 $CR = 10 \cdot \log \{ (f_{ijk} \text{ の位置に発生する全てのFWM光パワーの総和}) / (f_{ijk} \text{ の位置にある信号光パワー}) \} \quad (7)$

18

\*波数  $f_{ijk}$  (波長  $\lambda_{ijk}$  ;  $i \neq k, j \neq k$ ) の第4の光が、FWMである。この周波数  $f_{ijk}$  (波長  $\lambda_{ijk}$ ) は、次式(1)の関係を満たす光周波数の位置に発生し、間隔が等間隔でチャンネル数が多い場合には、 $i, j, k$  の組み合わせで周波数  $f_{ijk}$  (波長  $\lambda_{ijk}$ ) の位置に幾つものFWMが発生して信号光に重畳されるためクロストークはより悪化する。

【0062】

※小さい程、効率は高くなる。

【0063】一般に、3つの信号チャンネルの偏波が一致している場合、FWMの光電力(光パワー)  $P_{ijk}$  は次式(2)で表される。

★行断面積 ( $=\pi W^2$ ,  $W$  はモードフィールド径)、 $\alpha$  は光ファイバの減衰係数、 $P_i, P_j, P_k$  はそれぞれ周波数  $f_i, f_j, f_k$  (波長  $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k$ ) の信号光の入力パワーである。

【0064】

☆ (5), (6) で表される。

【0065】(a)  $f_i \neq f_j \neq f_k$  ( $\lambda_i \neq \lambda_j \neq \lambda_k$ ) の場合

上式(2)、(4)～(7)を用いればFWMの影響を見積もることができ、チャンネル間隔やチャンネル配置や入力パワー等のシステムのパラメータの値を設計することが可能となる。以下に説明する第1～第6実施例の作用効果の説明に際しては、適宜、上述した式により得られたFWMの影響の見積もり(図3、図4、図7、図11、図12参照)を用いている。

【0068】さて、前述したように、光ファイバ2の分散による波形劣化を防止するために、光ファイバの零分散波長周辺の帯域を利用する必要があるとともに、上記帯域で多重化した場合に顕著になるFWMの影響を考慮に入れたチャンネル間隔および信号チャンネル配置が必要であるが、これらに対応して、本発明の第1実施例にかかる光波長多重伝送方式では、例えば図1に示すように各チャンネルの信号光が配置される。

【0069】この図1に示すようなチャネル配置によれば、零分散波長 $\lambda_0$ からある一定幅のFWM抑圧用ガードバンド5を設け、このガードバンド5の外の、零分散波長 $\lambda_0$ よりも長波長側6に信号光が配置されている。上述の構成により、本発明の第1実施例にかかる光波長多重伝送方式では、送信回路1にて、各チャネルからの信号が、互いに周波数(波長)の異なる信号光として高密度に多重化され光ファイバ2を介して伝送される。

【0070】光ファイバ2により伝送された信号光は、分配器3にて分離されて、各チャネルに対応した受信回路4に入力され、入力チャネルに対応した周波数(波長)の信号光として検出される。このとき、例えば、送信回路1のチャネル数を16( $n=16$ )、チャネル間隔を150GHz、光ファイバ2の長さLを90km、1チャネル当たりの光入力パワーPを+3dBmとしたシステムの場合には、各チャネルのクロストーク量の計算結果は図3に示す通りである。この計算に用いたパラメータは、 $\chi_{1111}=5.0 \times 10^{-15} \text{ cm}^3/\text{erg(esu)}$ 、 $A_{\text{eff}}=4.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 、 $\alpha=5.2958 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$  (0.23dB/km)、 $dD/d\lambda=0.65\text{ps}/(\text{km} \cdot \text{nm}^2)$ となっている。

【0071】この図3において、図中の‘0.0ps’等の記載は、CH1(チャネル番号1)での分散の値である。チャネル番号(CH No.)が増えるにつれ分散値は分散スロープ $dD/d\lambda$ に従って大きくなる。図3に示す結果より、CH2、CH3、CH4でのクロストーク量が最も大きなものとなる。これらのCH2、CH3、CH4に注目して計算した結果を図4に示す。この図4に示すように、例えば、クロストーク量を30dB以下に抑えるためには、CH1の分散値を0.64以上にすればよく、例えば $dD/d\lambda=0.65\text{ps}/(\text{km} \cdot \text{nm}^2)$ とすると、CH1を零分散波長 $\lambda_0$ から約10nm離せばよく、10nmのガードバンド5を設定すればよいことになる。

【0072】このように、第1実施例の光波長多重伝送方式によれば、光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ からガードバンド5を介して各チャネルの信号光を配置することにより、FWMの影響を抑圧できクロストークによる他チャネルからの影響が抑制されるとともに、効率良く帯域を利用することができるので、高い伝送精度を維持しつつ光通信システムの大容量化を実現できる。

【0073】なお、本実施例においては、信号光を零分散波長 $\lambda_0$ よりも長波長側6に配置しているが、零分散波長 $\lambda_0$ よりも短波長側7にガードバンド5を介して信号光を配置してもよい。

#### (B) 第2実施例の説明

次に、本発明の第2実施例としての光波長多重伝送方式について説明すると、図5はその複数チャネルの信号光配置を示す図である。なお、第2実施例としての光波長多重伝送方式も、図2により説明した光WDM(FDM)分配伝送系と同様のものに適用されるので、その説明は省略する。

【0074】そして、本実施例にかかる光波長多重伝送方式では、図5に示すように、零分散波長 $\lambda_0$ の両側にFWM抑圧用ガードバンド5を設け、ガードバンド5の外の短波長側7、長波長側6のそれぞれに各チャネルの信号光を配置するようになっている。上述のようなチャネル配置を行なうことにより、第2実施例の光波長多重伝送方式によれば、光増幅器の帯域内、あるいは光部品

#### 【0075】(C) 第3実施例の説明

次に、本発明の第3実施例としての光波長多重伝送方式について説明すると、図6はその複数チャネルの信号光配置を示す図、図7はその動作を説明する図である。なお、第3実施例の光波長多重伝送方式も、図2により説明した光WDM(FDM)分配伝送系と同様のものに適用されるので、その説明は省略する。

【0076】そして、第3実施例の光波長多重伝送方式では、図6に示すように、FWM抑圧用ガードバンド5が、零分散波長 $\lambda_0$ を中心として、短波長側7および長波長側6とで、非対称となるように設けられるとともに、多重化される信号光のチャネル間隔を、短波長側7( $\Delta f$ )と長波長側6( $\Delta f'$ )とで互いに異なるように設定して配置するようになっている。

【0077】ガードバンド5の短波長、長波長の各側でチャネル間隔を変えて、ガードバンドの短波長側の信号光と長波長側の信号光との間で生じるFWM光の発生位置が何れかの信号光波長と一致するのを防止することができ、クロストークによる他チャネルからの影響が抑制される。ここで、FWM光が発生する帯域を信号光の帯域からずらす幅としては、その幅を受信側の光フィルタ4aで抑圧できる範囲のものが望ましい。

【0078】例えば、図7に示すように、左右のチャネル間隔を変え短波長側7で200GHz、長波長側6で150GHzとし、且つ、ガードバンド5の幅を短波長側7で1.6nm、長波長側6で4nmとした場合、チャネル間にFWM光は発生するが、信号光の帯域にはFWM光の発生は少なくなり、クロストーク量も減少する。このように、第3実施例の光波長多重伝送方式によっても、零分散波長 $\lambda_0$ からガードバンド5を介して零分散波長 $\lambda_0$ の両側に各チャネルの信号光を配置することにより、FWMの影響を抑圧できクロストークによる他チャネルからの影響を抑制できるとともに、効率良く帯域を利用することができるので、高い伝送精度を維持しつつシステムの大容量化を実現できる利点がある。

#### 【0079】(D) 第4実施例の説明

次に、本発明の第4実施例としての光波長多重伝送方式

について説明すると、図8はその複数チャネルの信号光配置を示す図である。なお、第4実施例の光波長多重伝送方式も、図2により説明した光WDM (FDM) 分配伝送系と同様のものに適用されるので、その説明は省略する。

【0080】そして、第4実施例の光波長多重伝送方式では、図8に示すように、短波長側7および長波長側6のそれぞれにおけるチャネル間隔を一定数の整数倍に設定するようになっている。例えば、チャネル間隔 $\Delta f$ を $\Delta f = A \cdot X$ とすれば、チャネル $n+4$ とチャネル $n+5$ とのチャネル間隔を $\Delta f' = B \cdot X$ とし、チャネル $n+m-1$ とチャネル $n+m$ とのチャネル間隔を $\Delta f'' = C \cdot X$ とする。ここで、 $X$ は一定数、 $A$ 、 $B$ 、 $C$ は整数である。

【0081】また、この図8に示すように、本実施例でも、FWM抑圧用ガードバンド5は、零分散波長 $\lambda_0$ を中心として、短波長側7および長波長側6とで、非対称となるように設けられている。送信回路1では、複数のレーザダイオード1aの波長を所望のチャネル配置、チャネル間隔で安定化する必要があり、受信回路4では、チャネルを選択し抽出する必要がある。前述したようなFWMの影響を抑えるために要求されるチャネル配置、チャネル間隔は、送信回路1で制御しやすいこと、且つ、受信回路4で抽出しやすいことが望まれる。

【0082】一般に、チャネル間隔の制御は、光干渉計の周期的な特性を利用して行なわれる。例えば、チャネル間隔の制御をファブリ・ペロ干渉計を用いて行なう場合、所望のチャネル間隔がファブリ・ペロ干渉計の透過ピークの間隔に等しい、あるいは透過ピークの間隔の整数倍である時には、1つのファブリ・ペロ干渉計を基準にしてその透過ピークの位置に個々のレーザダイオード1aの波長を安定化すれば全チャネルの制御が簡単に実現できるが、不等間隔で並んでいる場合には、制御が複雑になる。

【0083】このような観点から、零分散波長 $\lambda_0$ の短波長側7、長波長側6のチャネル間隔を一定数（光干渉計の透過ピークの一周期の間隔またはその整数倍）の整数倍に設定することで、短波長側7および長波長側6のチャネルの制御を同じ特性のファブリ・ペロ干渉計1つあるいは2つで制御できる。また、受信回路4に関しても同様で、チャネル間隔を一定数の整数倍に設定することにより、同特性の干渉計を使用できる。

【0084】このように、第4実施例の光波長多重伝送方式によれば、送信側でのチャネル間隔の制御がファブリ・ペロ干渉計1つあるいは2つで制御できるので、送信側の制御を簡易なものにできる利点がある。また、受信側に関しても同様で、チャネル間隔を一定数の整数倍に設定することにより、送信側と同特性の干渉計を使用できるようになり、選択受信が容易になると共に装置を簡略化させることができる利点がある。

【0085】なお、本実施例において、複数チャネルの信号光の隣接するチャネル間隔を、ガードバンド5外の短波長側7と長波長側6とで互いに異なるように設定することも可能である。

#### (E) 第5実施例の説明

次に、本発明の第5実施例としての光波長多重伝送方式について説明すると、図9はその複数チャネルの信号光配置を示す図である。なお、第5実施例の光波長多重伝送方式も、図2により説明した光WDM (FDM) 分配伝送系と同様のものに適用されるので、その説明は省略する。

【0086】そして、第5実施例の光波長多重伝送方式では、図9に示すように、FWM抑圧用ガードバンド5の両側に配置された各チャネルの信号光の間隔が、ガードバンド5をはさんで互いに一定数の整数倍分離れている関係を満たすように、各チャネルの信号光の周波数（波長）が設定されている。具体的には、チャネル（CH） $i$ の光周波数を $f$ とすると、任意のチャネル $j$ の光周波数は、 $f \pm A \cdot X$ （ $A$ ：整数、 $X$ ：定数）を満たすように設定されている。

【0087】上述のようにチャネル配置を行なうことにより、第5実施例の光波長多重伝送方式によれば、ガードバンド5をはさんで各チャネル間隔を一定数（光干渉計の透過ピークの一周期の間隔またはその整数倍）の整数倍に設定でき、送信側でのチャネル間隔の制御を1つの光干渉計だけで実現できるとともに、受信側においても同特性の干渉計を用いればよいので、選択受信が容易になると共に装置がさらに簡略化する利点がある。

#### 【0088】(F) 第6実施例の説明

次に、本発明の第6実施例としての光波長多重伝送方式について説明すると、図10はその複数チャネルの信号光配置を示す図、図11および図12はいずれもその動作を説明する図である。なお、第6実施例の光波長多重伝送方式も、図2により説明した光WDM (FDM) 分配伝送系と同様のものに適用されるので、その説明は省略する。

【0089】そして、第6実施例の光波長多重伝送方式では、図10に示すように、光周波数（光波長）軸上でみて、零分散波長 $\lambda_0$ で折り返してみた場合、2つ以上のチャネルが重ならないようにチャネルを配置する（分散値の絶対値の等しい組が1組以下になるように配置する）。図10に示す例では、CH3とCH8との1組のみが重なっている。

【0090】例えば、送信回路1のチャネル数を16、チャネル間隔を150GHz、200GHz、250GHz、光ファイバ2の長さ $L$ を90km、1チャネル当たりの光入力パワー $P$ を0dBmとしたシステムの場合、各チャネルのクロストークの計算結果は図11に示す通りであって、送信回路1のチャネル数を16、チャネル間隔を150GHz、200GHz、300GHz、光ファイバ2の長さ $L$ を90km、1チャネ

ル当たりの光入力パワー $P$ を0dBmとしたシステムの場合には、各チャネルのクロストークの計算結果は図12に示す通りである。この図11あるいは図12に示すように、全チャネルはほぼクロストークは-30dB前後で良好な値を示している。

【0091】第3実施例に示した図7では、CH2、CH5、CH11、CH15のクロストークの影響が表れているが、この図7のチャネル配置では、零分散波長 $\lambda_0$ で折り返すと、CH2とCH15とが重なり、CH5とCH11とが重なってしまう。言い換えれば、これらの2組は分散値の絶対値が同じものである。これに対して、本実施例では、図11、図12に示すように、分散値の絶対値が同じものを1組だけにすることで、前述の通り、全チャネルはほぼ-30dB前後で良好な値を示している。

【0092】零分散波長 $\lambda_0$ をはさんで2組以上分散値の絶対値が同じものがあると、(5)式からも分かるように、2組の中の3つのチャネルの組み合わせで位相不整合量 $\Delta\beta$ が0になってしまい、残りの1つのチャネル位置にFWM光が高い効率で発生してしまう。結局、2組の4つのチャネル全ての光周波数位置にFWM光が発生してクロストークを悪化させる。従って、図11、図12に示す本実施例のごとく、分散値の絶対値の同じものが2組以上にならないようにする(1組以下にする)必要がある。

【0093】このように、第6実施例の光波長多重伝送方式によれば、零分散波長 $\lambda_0$ をはさんで2組以上分散値の絶対値が同じものがないので、FWM光の発生を抑圧することができ、クロストークによる他チャネルからの影響をより確実に抑制できるほか、前述の各実施例におけるものと同様に、効率良く帯域を利用できるので、高い伝送精度を維持しつつシステムの大容量化を実現できる利点がある。

【0094】なお、上述した第1～第6実施例では、チャネル間隔を周波数により設定しているが、波長により設定してもよく、この場合も、上述した実施例と同様の作用効果を得ることができる。

#### (G) 第7実施例の説明

さて、光ファイバの零分散波長周辺の帯域を使用したWDM方式による光伝送系〔第7実施例では図15により後述するような光増幅多中継システム(再生中継システム)〕において、信号光間のFWMによるクロストークを抑制し避けるためには、前述したように信号光帯域と光ファイバの零分散波長とを離す必要がある。このときのチャネル配置は、主に、FWM抑圧のためのガードバンド(第1～第6実施例により説明したガードバンド5)、SPM-GVD効果による制限帯域、EDFAの利得帯域によって決定される。また、実際の光ファイバの零分散波長は長手方向にばらついており、零分散波長とそのばらつきとを管理することが、システム設計上、

極めて重要である。さらに、光分散補償器を用いることにより、見かけの零分散波長をシフトさせることができ、これは、後述するごとく、零分散波長ばらつきを許容する効果を有している。

【0095】これから説明する第7実施例および第8実施例では、以上の要因を考慮したときの、WDM方式におけるチャネル配置法について説明する。これは、逆に言えば、チャネル数とチャネル間隔とが決まっている状況下での光ファイバの零分散波長とそのばらつきとの規定法とも考えることができる。以下の説明では、まず、信号光帯域の制限要因である (a)波長多重信号帯域、(b)EDFAの利得帯域、(c)FWM抑圧のためのガードバンド、(d)SPM-GVD効果による制限帯域について説明した後に、光分散補償器の挿入有無を考慮してチャネル配置と光ファイバの所要特性との関係について説明する。

#### 【0096】

##### ・制限要因について

##### (a) 波長多重信号帯域

20  $n$ 波の信号光を等波長間隔 $\Delta\lambda_s$ で配置した場合、波長多重信号光帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ は $\Delta\lambda_s \times (n-1)$ で表される。なお、等波長間隔配置の場合、信号光帯域内のFWM光が大きくなりがちである一方、第4、第5実施例にて前述した通り、波長安定化制御は容易になる。

##### 【0097】(b) EDFA利得帯域

30 WDM方式の光伝送の場合、各波の受信特性を等しくするために、それぞれの信号光パワーを等しくする必要があり、そのためには、EDFAの利得が平坦な周波数帯域を使用しなければならない。例えば、図16には、EDFAを4段接続した後のASEスペクトル例(ASEスペクトル分布はほぼEDFAの利得分布に等しいものである)を示すが、現状のEDFA技術では、1550～1560nmの範囲が、利得が平坦な周波数帯域であり、この帯域幅( $\Delta\lambda_{EDFA}=10\text{nm}$ )内に全てのチャネルの信号光を配置することが望ましい。

40 【0098】なお、上述以外の周波数帯域としては、利得の等しい1535nm付近が挙げられる。また、このときのチャネル間隔を決定する要因としては、波長選択フィルタ特性や半導体レーザの波長安定性等がある。さらに、EDFAの利得帯域幅 $\Delta\lambda_{EDFA}$ を拡大する手段としては、EDFA動作点の最適化、EDF組成の最適化、光ノッチフィルタの挿入等が考えられる。

##### 【0099】(c) FWM抑圧のためのガードバンド

50 第1実施例においても説明した通り、光ファイバの零分散波長周辺の帯域を用いた光WDM(FDM)伝送において、FWMの影響を考慮して、チャネル間隔、チャネル配置、入力パワーを設定する必要がある。例えば、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光を入力した場合、この中の任意の3波 $\lambda_i$ 、 $\lambda_j$ 、 $\lambda_k$ により、光ファイバの3次の非線形感受率 $\chi_{(3)}$ を介して、波長 $\lambda_{ijk}$  ( $i \neq k$ ,  $j \neq$

k) の第4の光 (FWM) が発生する。

【0100】この波長 $\lambda_{ijk}$ は、前記(1)式の関係を満たし、その位置に信号光がある場合にはクロストークとなって伝送特性を劣化させる。特に、チャンネル間隔が等間隔でチャンネル数が多い場合には、 $i, j, k$ の組み合わせで波長 $\lambda_{ijk}$ の位置に複数のFWMが重畳され、クロストーク量が増加する。また、波長 $\lambda_{ijk}$ の発生効率 $\eta_{ijk}$ は各波長 $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k, \lambda_{ijk}$ の位相関係により変化し、光ファイバの零分散波長 $\lambda_0$ 近傍で大きくなる。

【0101】一般に、3つの信号光の偏波および光ファイバ入力端での位相が一致している場合、FWM光パワー $P_{ijk}$ と発生効率 $\eta_{ijk}$ は、それぞれ、上述した

(2), (3)式および(4)~(6)式で表される。例えば、図17に示すように、16波の信号光を波長間隔 $\Delta\lambda_s = 1.2\text{nm}$ の等間隔に配置した場合の、チャンネル1の分散値 $D_{ch1}$ を変化させたときの各チャンネルへのクロストーク量〔前述した(7)式参照〕の計算例を図18に示す。この計算に用いたパラメータは、 $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ ,  $\chi_{1111} = 5.0 \times 10^{-15}\text{esu}$ ,  $A_{eff} = 4.6 \times 10^{-11}\text{m}^2$ ,  $\alpha = 5.3 \times 10^{-5}\text{m}^{-1}$  (0.23dB/km),  $dD/d\lambda = 0.065\text{ps}/(\text{km} \cdot \text{nm}^2)$ ,  $L = 90\text{km}$ ,  $P_i = 0\text{dBm/ch}$ となっている。

【0102】この図18に示すように、各チャンネルに重畳されるFWM光の組合せ数は、中心の7, 8チャンネルで最大になるが、各チャンネルでの分散値が異なるために、チャンネル2~4でクロストーク量が最大となる(これは第1実施例において図3により説明したものと同様の結果である)。所要クロストーク量を $-3\text{dB}$ とすると、チャンネル1の分散値 $D_{ch1}$ を $0.25\text{ps}/(\text{km} \cdot \text{nm})$ 以上にすることが必要。つまり、零分散波長 $\lambda_0$ とチャンネル1の波長 $\lambda_1$ との波長間隔を $3.8\text{nm}$ 以上とる必要があり、これを本実施例のFWM抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ と呼ぶ。

【0103】(d)SPM-GVD効果による制限帯域図15は本発明の第7実施例としての光波長多重伝送方式を適用される再生中継システム(光伝送系)の構成を示すブロック図で、この図15において、11は電気信号を光信号(信号光)に変換するとともに図2により前述した構成(送信回路1)により光波長多重を行なう送信機、12は光伝送路(光ファイバ2)中にほぼ一定間隔 $L_{in-line}$ で挿入され線路損失により減衰した信号を増幅するインライン中継器(In-line amplifier)である。

【0104】また、13は光伝送路(光ファイバ2)中にほぼ一定間隔 $L_{r-rep}$ (インライン中継器12の間隔 $L_{in-line}$ よりも広い間隔)で挿入される再生中継器(Regenerative-repeater)で、この再生中継器13は、線路特性に依存した雑音の影響によって劣化した信号光が、識別不可能な状態になる前に新たなパルスにつくり

直して伝送するためのもので、等化増幅(Reshaping)、リタイミング(Retiming)、識別再生(Regenerating)の3つのRからなる機能を有し、3R中継器とも呼ばれる。

【0105】さらに、14は図2により前述した構成(受信回路4)により多重化された信号光を分離するとともに各信号光を電気信号に変換する受信機である。そして、本実施例では、上述した送信機11と受信機14とを、複数のインライン中継器12および再生中継器13を介して光ファイバ2により接続することで、光増幅多中継WDM方式による光伝送系(再生中継システム)10が構成されている。

【0106】さて、上述のような光伝送系10の場合、再生中継器13の間隔 $L_{r-rep}$ は、主に、①インライン中継器12でのASE累積による光SNR劣化と、②光ファイバ2中でのKerr効果を介したSPM-GVD効果による波形劣化との2つの要因で制限される。同時に、光ファイバ2中への入力パワーの下限は光SNRにより制限され、上限はSPM-GVD効果によって制限される。なお、SPM-GVD効果による波形劣化の評価に対しては、前述したように、一般に、スプリット・ステップ・フーリエ法を用いて非線形シュレディンガー方程式を解くことによるシミュレーションが有効である。

【0107】図19に、伝送速度を $10\text{Gbps}$ 、インライン中継器12の間隔 $L_{in-line}$ を $70\text{km}$ として1波のみを伝送する場合の光ファイバ2への入力パワーと再生中継器13の間隔 $L_{r-rep}$ との関係の例を示す。各光増幅器(インライン中継器12)からの光出力の変動を $\pm 2\text{dB}$ と仮定すると、許容分散値 $D_{allow} = \pm 1\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ の場合は、再生中継器13の間隔 $L_{r-rep}$ の最大値は $280\text{km}$ となり、許容分散値 $D_{allow} = \pm 2\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ の場合は、再生中継器13の間隔 $L_{r-rep}$ の最大値は $210\text{km}$ となる。長距離伝送を実現するためには、許容分散値を小さく且つ光ファイバ2への入力パワーを大きく設定する必要がある。

【0108】

・チャンネル配置と光ファイバの所要特性との関係について

WDM方式による光伝送を行なう場合に考慮しなければならないDSF(光ファイバ2)の所要特性としては、前述した通り、①零分散波長 $\lambda_0$ 、②零分散波長ばらつき $\pm\Delta\lambda_0$ 、③分散スロープ(二次分散) $dD/d\lambda$ の3つが挙げられる。ここでの零分散波長ばらつき $\pm\Delta\lambda_0$ は、DSFの製造上のばらつきだけでなく、再生中継器13の間隔 $L_{r-rep}$ 内での光ファイバ2の長手方向の零分散波長 $\lambda_0$ の最大変動幅を意味する。

【0109】図20は、実際のDSFに2波の信号光を入力し、その一方の波長 $\lambda_2$ を $1557\text{nm}$ に固定し、もう一方の波長 $\lambda_1$ を変化させたときのFWM発生効率 $\eta$ の測定結果(図20中、白丸を実線で接続したもの)を示し

ている。このとき、光ファイバ長を60km、各信号光パワーを+4dBmとした。零分散波長 $\lambda_0$ を一定値に固定した場合の計算結果(図20中の点線)と比較すると、測定値は広い波長範囲に分布しており、これは、実際のDSFの零分散波長 $\lambda_0$ が長手方向にばらついていることを意味している。

【0110】上述の諸点を考慮して、本発明の第7実施例の光波長多重伝送方式では、例えば図13に示すように、各チャネルの信号光が配置される。なお、本実施例では、4つのチャネルの信号光を波長多重して光伝送する場合について説明する。即ち、図13に示すように、光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ と光ファイバ2の長手方向の零分散波長ばらつき $\pm\Delta\lambda_0$ とを考慮し、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の短波長端( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ )よりも短波長側に、多重化すべき4つのチャネルの信号光を等間隔 $\Delta\lambda_s$ で配置している。

【0111】このとき、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の短波長端( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ )よりも短波長側には、FWM抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を設け、波長( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g$ )よりもさらに短波長側に、4つのチャネルの信号光(チャネル1~4で波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ )を配置している。本実施例では、チャネル1の波長 $\lambda_1$ は、DSF(光ファイバ2)の零分散波長 $\lambda_0$ から短波長側に( $\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ )だけ離れた位置に設定されている[波長( $\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g$ )がチャネル1の波長 $\lambda_1$ と一致するように設定されている]。

【0112】また、本実施例では、光ファイバ2中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値 $D_{allow}$ により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ 内に、4つのチャネルの信号光が配置されている。つまり、図13に示すように、伝送可能な信号光波長範囲は、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の長波長端( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ )から短波長側へ、 $\Delta\lambda_{SPD-GVD} = |D_{allow}| / (dD/d\lambda)$  以内の領域である。このとき、4波とも伝送可能で且つ零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ をできるだけ大きく許容するために、波長 $\lambda_{SPD-GVD} [= (\lambda_0 + \Delta\lambda_0) - \Delta\lambda_{SPD-GVD}]$ とチャネル4の波長 $\lambda_4$ とが一致するように設定されている。

【0113】さらに、本実施例では、光ファイバ2に接続されるEDFA(インライン中継器12に配置される\*40

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{SPD-GVD} &= |D_{allow}| / (dD/d\lambda) \\ &= 1(\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) / 0.08(\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})) = 12.5\text{nm} \\ \Delta\lambda_0 &= (\Delta\lambda_{SPD-GVD} - \Delta\lambda_{WDM} - \Delta\lambda_g) / 2 = 1.75\text{nm}\end{aligned}$$

$$\lambda_0 = \lambda_1 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g = 1564.75\text{nm}$$

以上の数値は、ばらつき $\Delta\lambda_0$ が最小の場合のものである。なお、分散スロープ $dD/d\lambda$ が小さいほど、 $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ が大きくなり、ばらつき $\Delta\lambda_0$ を大きく許容することができるようになる。

【0118】図13では光分散補償器を用いない場合について説明したが、次に、光分散補償器を用いて各チャ

\*光増幅器)の利得帯域 $\Delta\lambda_{EDFA}$ (例えば図16に示すような1550~1560nmの範囲)内に、4つのチャネルの信号光が配置される。なお、図13中には図示しないが、半導体レーザ(信号光の光源)の製造性や波長制御精度による各信号光の光波長変動分を考慮する場合には、その変動分に応じて、複数チャネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ を拡張して設定する。

【0114】ここで、図13に示した信号光配置例について、より具体的に数値例を挙げて説明する。例えば、伝送速度10Gbpsの4波の信号光を波長間隔 $\Delta\lambda_s = 2\text{nm}$ の等間隔でDSF(光ファイバ2)の零分散波長 $\lambda_0$ よりも短波長側に配置し、インライン中継器12の間隔 $L_{in-line}$ を70km、再生中継器13の間隔 $L_{R-reg}$ を280kmとした場合について、チャネル配置とDSFの所

要特性との関係について説明する。  
【0115】まず、光ファイバ長を70km、各チャネルの入力パワーを+6dBmとしたときの波長間隔 $\Delta\lambda_s$ に対する、全てのチャネルでのクロストーク量が-30dB以下になるガードバンド $\Delta\lambda_g$ の関係を図21に示す。この図21より、波長間隔 $\Delta\lambda_s = 2\text{nm}$ の場合(信号光帯域 $\Delta\lambda_{WDM} = 6\text{nm}$ )は、ガードバンド $\Delta\lambda_g = 3\text{nm}$ が必要であることが分かる。

【0116】そして、図13に示すように、EDFAの利得帯域(1550~1560nm)を有効利用するため、チャネル1の波長 $\lambda_1$ を利得帯域の長波長端である1560nmに設定する。このとき、波長 $\lambda_1$ は、前述した通りDSFの零分散波長 $\lambda_0$ から短波長側に( $\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ )だけ離れた波長となる。また、図19より、再生中継器13の間隔 $L_{R-reg} = 280\text{km}$ であるための許容分散値 $D_{allow}$ は $-1\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ であるので、伝送可能な信号光波長範囲は、前述した通り、波長( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ )から短波長側へ、 $\Delta\lambda_{SPD-GVD} = |D_{allow}| / (dD/d\lambda)$  以内の領域であり、4波とも伝送可能で且つ零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ をできるだけ大きく許容するために、波長( $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ ) $-\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ とチャネル4の波長 $\lambda_4$ とが一致するように設定する。これらの条件から、 $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ 、 $\Delta\lambda_0$ 、 $\lambda_0$ の各値は次のように規定される。

【0117】

ネルの信号光配置を行なう場合について説明する。つまり、本発明の第7実施例の光波長多重伝送方式では、光分散補償器を用いることにより、例えば図14に示すように、各チャネルの信号光を配置することでもできる。なお、ここでも、4つのチャネルの信号光を波長多重して光伝送する場合について説明する。

【0119】即ち、まず、図14の上段に示すように、



光ファイバ2中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値 $D_{allow}$ により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$  外に、4つのチャネルの信号光を配置してから、図14の下段に示すように、光分散補償器を用いて光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ を $\lambda_0'$ にシフトさせることにより、4つのチャネルの信号光を、見かけ上、伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ 内に配置している。

【0120】このとき、4つのチャネルの信号光は、光分散補償器によるシフト前には、図13にて説明した配置例と同様に、波長 $(\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g)$ よりも短波長側に等間隔 $\Delta\lambda_s$ で配置されるとともに、EDFAの利得帯域 $\Delta\lambda_{EDFA}$ 内に配置されている。なお、チャネル1の波長 $\lambda_1$ は、零分散波長 $\lambda_0$ から短波長側に $(\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g)$ だけ離れた波長 $(\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g)$ と一致するように設定されている。

【0121】そして、光分散補償器により実際の零分散波長 $\lambda_0$ を $\Delta\lambda_{oc}$ だけ短波長側にシフトさせることにより、図14の下段に示すように、4つのチャネルの信号光を、見かけ上、伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ 内に配置している。なお、図14中には図示しないが、半導体レーザ（信号光の光源）の製造性や波長制御精度による各信号光の光波長変動分を考慮する場合には、その変動分に応じて、複数チャネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ を拡張して設定する。

【0122】また、図14中には図示しないが、上述のように光分散補償器を用いる場合、光分散補償器の分散補償量ばらつき範囲 $\pm\delta\lambda_{oc}$ を考慮し、信号光帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ を、長波長側および短波長側の両側についてその分散補償量ばらつき範囲 $\delta\lambda_{oc}$ だけ拡張して設定する。さ\*

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{oc} &= (2 \cdot \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_{SPD-GVD}) + \Delta\lambda_g + \Delta\lambda_{WDM} \\ &= (2 \times 9.5 - 12.5) + 3 + 6 = 15.5 \text{ nm}\end{aligned}$$

光分散補償器としては、高分散、低損失、小型化が求められており、これまで分散補償ファイバ、トランスパサルフィルタタイプ、光共振器タイプ等が提案されているが、例えば、本発明において第9～第15実施例により後述する光分散補償方式を適用されるものを用いる。

【0127】なお、図14に示す例では、正の分散値をもつ光分散補償器が必要なので、例えば、通常のシングルモードファイバ〔分散値 $D_{oc}=18\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 〕を用いたとすると、必要なファイバ長 $L_{oc}$ は次のように与えられる。

$$\begin{aligned}L_{oc} &= (\Delta\lambda_{oc} \cdot dD/d\lambda \cdot L_{R-rop})/D_{oc} \\ &= (15.5 \times 0.08 \times 280)/18 = 19.3 \text{ km}\end{aligned}$$

上述した図13および図14の例では、それぞれ、零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ が最小と最大の場合について具体的に説明したが、図22に、信号光を零分散波長 $\lambda_0$ の短波長側に配置した場合について、ばらつき $\Delta\lambda_0$ に対する零分散波長 $\lambda_0$ と分散補償波長シフト量 $\Delta\lambda_{oc}$ との関係を示す。この図22中、波長間隔 $\Delta\lambda_s = 2\text{nm}$ 、ガードバンド $\Delta\lambda_g = 3\text{nm}$ の場合を実線で示す。波長間隔

\*らに、光分散補償器としては、例えば、第9～第15実施例により以下に説明するようなものを用いることができる。

【0123】ここで、図14に示した信号光配置例について、より具体的に数値例を挙げて説明する。なお、ここでは、信号帯域の伝送路と正負反対符号の分散値をもつ光分散補償器を用いて、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ を最大に許容することができ、且つ、光分散補償器のサイズ、光損失の点から分散補償波長シフト量 $\Delta\lambda_{oc}$ を最小にする場合を考える。また、各数値としては図13により説明したものと同様とする。

【0124】図14の下段に示すように、零分散波長ばらつきの下限から長波長側へ $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ の範囲と零分散波長ばらつきの下限から短波長側へ $\Delta\lambda_{SPD-GVD}$ の範囲とが重なった領域と、信号光帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ とが一致するとき、零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ を最大に許容することができる。つまり、

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_0(\text{max}) &= (2 \cdot \Delta\lambda_{SPD-GVD} - \Delta\lambda_{WDM})/2 \\ &= (2 \times 12.5 - 6)/2 = 9.5 \text{ nm}\end{aligned}$$

となり、このとき、分散補償後の見かけの零分散波長 $\lambda_0'$ は、信号光帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ の中心に位置する。

【0125】分散補償前は、図14の上段に示すように、FWM抑圧の条件から、チャネル1の波長 $\lambda_1$ は零分散波長 $\lambda_0$ から短波長側に $\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ だけ離れている。従って、

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= \lambda_1 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g = 1572.5 \text{ nm} \text{ となり、} \lambda_0 \pm \Delta\lambda_0 = 1572.5 \pm 9.5 \text{ nm} \text{ となる。}\end{aligned}$$

【0126】このとき、分散補償波長シフト量 $\Delta\lambda_{oc}$ は、 $\lambda_0 - \lambda_0'$ であり、以下のよう求められる。

$\Delta\lambda_s = 3\text{nm}$ の場合を点線で示すが、このとき、図13より、零分散波長 $\lambda_0$ とチャネル1の波長 $\lambda_1$ とが一致さえしなければよいので、ガードバンド $\Delta\lambda_g = 1\text{nm}$ とした。

【0128】このように、第7実施例の光波長多重伝送方式によれば、光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ 周辺の帯域を利用した光増幅多中継WDM方式において、FWMの影響を受けずに各チャネルの信号光を配置することができ、同時に、敷設すべき光ファイバ伝送路の零分散波長 $\lambda_0$ に関する所要特性を明確にすることができ、光増幅多中継WDM方式における信号光のチャネル配置法および伝送路設計法を確立できる。

【0129】特に、本実施例によれば、零分散波長ばらつき範囲およびFWM抑圧用ガードバンドを考慮し、波長 $(\lambda_0 - \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_g)$ よりも短波長側に各チャネルの信号光を配置することにより、光ファイバ2の長手方向の零分散波長ばらつきが考慮・管理されると同時に、FWMの影響が抑圧されてクロストークによる他チャネルからの影響が抑制され、高い伝送精度を維持する

ことができる。

【0130】また、本実施例によれば、SPM-GVD効果による波形劣化を考慮した信号光配置を行なえるほか、EDFAの利得帯域 $\Delta\lambda_{\text{EDFA}}$ 内に各チャネルの信号光を配置することにより、各信号光パワーを等しくでき、各信号光の受信特性を等しくすることができる。さらに、各チャネルの信号光の光波長変動分に応じて信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{\text{WDM}}$ を拡張して設定することにより、半導体レーザ等の信号光光源の製造性や波長制御精度による各信号光の変動が考慮されるとともに、光分散補償器を用いる場合には、信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{\text{WDM}}$ を、長波長側および短波長側の両側について光分散補償器の分散補償量ばらつき範囲 $\delta\lambda_{\text{DC}}$ だけ拡張して設定することにより、光分散補償器の分散補償量ばらつきも考慮され、より信頼性の高い光伝送を行なうことができる。

【0131】なお、上述した第7実施例では、4つのチャネルの信号光を配置する場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。

#### (H) 第8実施例の説明

次に、本発明の第8実施例としての光波長多重伝送方式について説明すると、図23はその複数チャネルの信号光配置を示す図、図24はその複数チャネルの信号光配置の変形例を示す図、図25はその零分散波長ばらつきに対する零分散波長と分散補償量との関係を示すグラフである。なお、第8実施例の光波長多重伝送方式も、図15により説明した再生中継システム（光伝送系）と同様のものに適用されるので、その説明は省略する。

【0132】前述した第7実施例では、各チャネルの信号光を光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ よりも短波長側に配置した場合について説明したが、第8実施例では、各チャネルの信号光を光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ よりも長波長側に配置しており、チャネル1の波長 $\lambda_1$ をEDFAの利得帯域の短波長端1550nmに設定した上で、第7実施例の図13にて説明したものと全く同じ手段により、チャネル配置とDSF（光ファイバ2）の所要特性との関係を決定している。

【0133】即ち、図23に示すように、光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ と光ファイバ2の長手方向の零分散波長ばらつき $\pm\Delta\lambda_0$ とを考慮し、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の長波長端（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ ）よりも長波長側に、多重化すべき4つのチャネルの信号光を等間隔 $\Delta\lambda_s$ で配置している。このとき、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の短波長端（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ ）よりも長波長側には、FWM抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を設け、波長（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）よりもさらに短波長側に、4つのチャネルの信号光（チャネル1～4で波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ ）を配置している。本実施例では、チャネル1の波長 $\lambda_1$ は、DSF（光ファイバ2）の零分散波長 $\lambda_0$ から長波長側に（ $\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）だ

け離れた位置に設定されている〔波長（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）がチャネル1の波長 $\lambda_1$ と一致するように設定されている〕。

【0134】また、本実施例では、光ファイバ2中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値 $\Delta\lambda_{\text{SPD-GVD}}$ により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{\text{SPD-GVD}}$ 内に、4つのチャネルの信号光が配置されている。つまり、図23に示すように、伝送可能な信号光波長範囲は、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の短波長端（ $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ ）から長波長側へ、 $\Delta\lambda_{\text{SPD-GVD}} = |D_{\text{all}0}| / (dD/d\lambda)$  以内の領域である。このとき、4波とも伝送可能で且つ零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ をできるだけ大きく許容するために、波長 $\lambda_{\text{SPD-GVD}} = (\lambda_0 - \Delta\lambda_0) + \Delta\lambda_{\text{SPD-GVD}}$ とチャネル4の波長 $\lambda_4$ とが一致するように設定されている。

【0135】さらに、本実施例では、光ファイバ2に接続されるEDFAの利得帯域 $\Delta\lambda_{\text{EDFA}}$ （例えば図16に示すような1550～1560nmの範囲）内に、4つのチャネルの信号光が配置される。なお、図23中には図示しないが、本実施例においても、半導体レーザ（信号光の光源）の製造性や波長制御精度による各信号光の光波長変動分を考慮する場合には、その変動分に応じて、複数チャネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{\text{WDM}}$ を拡張して設定する。

【0136】ところで、図23では光分散補償器を用いない場合について説明したが、次に、光分散補償器を用いて各チャネルの信号光配置を行なう場合について説明する。つまり、本発明の第8実施例の光波長多重伝送方式では、光分散補償器を用いることにより、例えば図24に示すように、各チャネルの信号光を配置することもできる。

【0137】即ち、まず、図24の上段に示すように、光ファイバ2中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値 $\Delta\lambda_{\text{all}0}$ により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{\text{SPD-GVD}}$ 外に、4つのチャネルの信号光を配置してから、図24の下段に示すように、光分散補償器を用いて光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ を $\lambda_0'$ にシフトさせることにより、4つのチャネルの信号光を、見かけ上、伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{\text{SPD-GVD}}$ 内に配置している。

【0138】このとき、4つのチャネルの信号光は、光分散補償器によるシフト前には、図23にて説明した配置例と同様に、波長（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）よりも長波長側に等間隔 $\Delta\lambda_s$ で配置されるとともに、EDFAの利得帯域 $\Delta\lambda_{\text{EDFA}}$ 内に配置されている。なお、チャネル1の波長 $\lambda_1$ は、零分散波長 $\lambda_0$ から長波長側に（ $\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）だけ離れた波長（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）と一致するように設定されている。

【0139】そして、光分散補償器により実際の零分散波長 $\lambda_0$ を $\Delta\lambda_{\text{DC}} (= \lambda_0' - \lambda_0)$ だけ長波長側にシフトさせることにより、図24の下段に示すように、4

つのチャネルの信号光を、見かけ上、伝送可能帯域  $\Delta \lambda_{\text{SPD-GVD}}$  内に配置している。なお、図 24 においても、第 7 実施例の図 14 にて説明したように、零分散波長ばらつきの下限から長波長側へ  $\Delta \lambda_{\text{SPD-GVD}}$  の範囲と零分散波長ばらつきの下限から短波長側へ  $\Delta \lambda_{\text{SPD-GVD}}$  の範囲とが重なった領域と、信号光帯域  $\Delta \lambda_{\text{WDM}}$  とを一致させ、零分散波長ばらつき  $\Delta \lambda_0$  を最大に許容できる場合について図示されている。

【0140】また、図 24 中には図示しないが、半導体レーザ（信号光の光源）の製造性や波長制御精度による各信号光の光波長変動分を考慮する場合には、その変動分に応じて、複数チャネルの信号光を配置する帯域  $\Delta \lambda_{\text{WDM}}$  を拡張して設定する。さらに、図 24 中には図示しないが、上述のように光分散補償器を用いる場合、光分散補償器の分散補償量ばらつき範囲  $\pm \delta \lambda_{\text{DC}}$  を考慮し、信号光帯域  $\Delta \lambda_{\text{WDM}}$  を、長波長側および短波長側の両側についてその分散補償量ばらつき範囲  $\delta \lambda_{\text{DC}}$  だけ拡張して設定する。さらに、光分散補償器としては、例えば、第 9～第 15 実施例により以下に説明するようなものを用いることができる。

【0141】上述した図 23 および図 24 の例では、それぞれ、零分散波長ばらつき  $\Delta \lambda_0$  が最小と最大の場合について説明したが、図 25 に、信号光を零分散波長  $\lambda_0$  の長波長側に配置した場合について、ばらつき  $\Delta \lambda_0$  に対する零分散波長  $\lambda_0$  と分散補償波長シフト量  $\Delta \lambda_{\text{DC}}$  との関係を示す。この図 25 も、第 7 実施例により前述した図 22 における数値と同様のものが適用されており、図 25 では、零分散波長  $\lambda_0$  よりも長波長側に信号光を配置するために、ばらつき  $\Delta \lambda_0$  に対する零分散波長  $\lambda_0$  についての傾きが、図 22 に示したものと逆になっている。

【0142】このように、第 8 実施例の光波長多重伝送方式によっても、前述した第 7 実施例と全く同様の作用効果を得ることができる。なお、上述した第 8 実施例では、4 つのチャネルの信号光を配置する場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。また、上述した第 7 実施例および第 8 実施例では、各チャネルの信号光を、零分散波長  $\lambda_0$  よりも短波長側、長波長側のいずれか一方の側に配置する場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、各チャネルの信号光を、零分散波長  $\lambda_0$  の両側に配置することもできる。このとき、光分散補償を行なう場合には、零分散波長  $\lambda_0$  の短波長側と長波長側との各チャネルは、別々に正負の異なる光分散補償器を用いる必要がある。

【0143】(I) 第 9 実施例の説明

次に、本発明の第 9 実施例としての光分散補償方式について説明すると、図 26 はそのブロック図であり、この図 26 において、21 は電気信号を光信号に変換して送信する送信機、22 は光伝送路（光ファイバ 2）中に挿入される中継器で、この中継器 22 としては、前述した

ようなインライン中継器や再生中継器がある。

【0144】また、23 は受信した光信号を電気信号に変換する受信機で、上述した送信機 21 と受信機 23 とを、複数の中継器 22 を介して光ファイバ 2 により接続することで、光伝送系 20 が構成され、この光伝送系 20 において、送信機 21 からの信号光が、中継器 22 および光ファイバ 2 を介して受信機 23 へ伝送されるようになっている。

【0145】そして、24A、24B はそれぞれ正の分散量 +B、負の分散量 -B を有する 2 種類の光分散補償器ユニットであり、これらの 2 種類の光分散補償器ユニット 24A、24B は、予め用意されており、後述するように、光伝送系 20（光ファイバ 2、送信機 21、中継器 22、受信機 23 のいずれかの部分）に挿入されるものである。

【0146】ところで、光伝送系 20 が、図 15 により前述したような光増幅再生中継システムである場合、図 19 により前述したように、再生中継器間隔が長距離になるほど許容分散値は小さくなるため、チャネル（信号光）の配置位置をその許容分散値以内に収めるための光分散補償器は不可欠になっている。また、前述した第 1～第 8 実施例では、光ファイバ 2 の零分散波長周辺の帯域を利用した WDM 方式において、FWM によるクロストークを避けるために、光ファイバ 2 の零分散波長と信号光波長とを離しているが、その分の分散補償（特に第 7、第 8 実施例における図 14、図 24 の例参照）が必要となる。このような分散補償は、一波伝送、SMF 伝送にも必要である。

【0147】特に、陸上の光通信システムの場合、中継間隔は一定ではなく、さらに実際の光ファイバ 2 の零分散波長は長手方向にばらついているため、各中継区間の分散量を等しくすることは困難である。そのため、DSF（光ファイバ 2）の零分散波長付近に信号光波長を設定した場合、各中継区間毎に分散量の正負が異なる可能性さえある。

【0148】そこで、この第 9 実施例では、光伝送系 20 の分散量を補償するために、予め用意された 2 種類の光分散補償器ユニット 24A、24B をそれぞれ光伝送系 20 に挿入し、この光伝送系 20 の伝送特性が良好となる方の光分散補償器ユニット 24A もしくは 24B を選択して光伝送系 20 に挿入・設置している。これにより、正確な分散量を測定できず、且つ、零分散波長ばらつきをある程度把握できている場合、光伝送系 20 の分散量を簡易的に補償できる。

【0149】また、光伝送系 20 の分散量を測定できる場合には、測定された分散量の符号とは反対の符号の光分散補償器ユニット 24A もしくは 24B を選択することで、より確実に光伝送系 20 の分散量を補償することができる。このように、第 9 実施例の光分散補償方式によれば、個々の伝送路に応じた光分散補償器を設計・製

作することなく、SPM-GVD効果による波形劣化やガードバンドについての分散量を容易に補償でき、光通信システム構築までの工数削減および時間短縮を実現することができる。

【0150】ここで、第9実施例の具体的な数値例について説明する。伝送速度を10Gbps、インライン中継器間隔 $L_{in-line}$ を70km、各光増幅器からの光出力の変動を $\pm 2$ dBと仮定すると、図19より、許容分散値 $D_{allow} = \pm 1 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ で最大再生中継器間隔は280kmとなり、280km伝送後の信号光の分散量としては $\pm 280 \text{ ps}/\text{nm}$ の分散補償が必要である。そこで、例えば、伝送路分散量が $+1200 \text{ ps}/\text{nm}$ の場合、分散量 $+1000 \text{ ps}/\text{nm}$ と $-1000 \text{ ps}/\text{nm}$ との光分散補償器ユニット24A、24Bを用意した場合、分散量 $-1000 \text{ ps}/\text{nm}$ の光分散補償器ユニット24Bを伝送路中に挿入すれば、総分散量が $+200 \text{ ps}/\text{nm}$ となり、伝送可能になる。

【0151】(J)第10実施例の説明

次に、本発明の第10実施例としての光分散補償方式について説明すると、図27はそのブロック図であり、この図27中において、既述の符号と同一の符号は同一部分を示しているの、その説明は省略する。前述した第9実施例においては、正の分散量 $+B$ 、負の分散量 $-B$ を有する2種類の光分散補償器ユニットが予め用意されていたのに対して、この第10実施例では、正負符号、分散量の異なる複数種類の光分散補償器ユニット25A、25Bが予め用意されている。

【0152】ここでは、分散量B1、B2の2種類の光分散補償器ユニット25A、25Bがそれぞれ複数個用意され、これらの光分散補償器ユニット25A、25Bを組み合わせる構成された光分散補償器ユニット25が、光伝送系20（光ファイバ2、送信機21、中継器22、受信機23のいずれかの部分）に挿入されるようになっている。

【0153】そして、本実施例では、光通信システム敷設現場において、2種類の光分散補償器ユニット25A、25Bを、設置数、組合せを変えながらそれぞれ光伝送系20に挿入し、この光伝送系20の伝送特性、特に符号誤り率を測定しながら、その伝送特性が良好となる設置数、組合せの光分散補償器ユニット25（図27中では3個の光分散補償器ユニット25Aと1個の光分散補償器ユニット25Bとを組み合わせたもの）を、2種類の光分散補償器ユニット25A、25Bの中から選択・決定して光伝送系20に挿入・設置している。

【0154】これにより、零分散波長ばらつきが不明である場合や、零分散波長と信号光波長とが大きく離れている場合に対応して、光伝送系20の分散量を簡易的に且つ最適に補償することができる。また、光伝送系20の分散量を測定できる場合には、その分散量を測定し、測定された分散量に基づいて、信号光の分散値が伝送可能な分散値内になる設置数、組合せの光分散補償器ユニ

ット25を、2種類の光分散補償器ユニット25A、25Bの中から選択・決定し、光伝送系20に挿入・設置することにより、光伝送系20の分散量が確実に許容分散値以内に収まるように補償することができる。

【0155】このように、第10実施例の光分散補償方式によっても、個々の伝送路に応じた光分散補償器を設計・製作することなく、SPM-GVD効果による波形劣化やガードバンドについての分散量を容易に補償でき、光通信システム構築までの工数削減および時間短縮を実現することができる。なお、上述した第10実施例では、予め用意される光分散補償器ユニットを2種類とした場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0156】ここで、第10実施例の具体的な数値例について説明する。第9実施例の数値例と同様に、280km伝送後の信号光の分散量としては $\pm 280 \text{ ps}/\text{nm}$ の分散補償が必要である場合に、例えば、分散量A1、A2、B1、B2としてそれぞれ $+300 \text{ ps}/\text{nm}$ 、 $+100 \text{ ps}/\text{nm}$ 、 $-300 \text{ ps}/\text{nm}$ 、 $-100 \text{ ps}/\text{nm}$ なる光分散補償器ユニットを用意しているとすると、光分散補償器ユニットとしては、 $B1 \times 3$ 個 $+B2 \times 1$ 個を組み合わせる構成された光分散補償器ユニット25が、光伝送系20（光ファイバ2、送信機21、中継器22、受信機23のいずれかの部分）に挿入すれば、総分散量が $+200 \text{ ps}/\text{nm}$ となり、伝送可能になる。

【0157】(K)第11実施例の説明

次に、本発明の第11実施例としての光分散補償方式について説明すると、図28はそのブロック図、図29および図30はそれぞれその第1変形例および第2変形例を示すブロック図である。なお、前述した第9および第10実施例では、1波の信号光のみを伝送する場合について説明したが、本実施例では、4チャンネルの信号光（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ ）を波長多重して伝送する場合について説明する。

【0158】図28に示すように、本実施例においても、光伝送系20が、送信機21、中継器22、受信機23を光ファイバ2により接続して構成されているが、この第11実施例では、送信機21は、各チャンネルの電気信号を互いに波長（周波数）の異なる信号光に変換した後に、これらの信号光について波長多重を行なうもので、各チャンネル毎に設けられ各チャンネルの電気信号を所定波長の信号光に変換する電気/光変換部（E/01～E/04）21aと、各チャンネル毎の電気/光変換部21aからの信号光を受けてこれらの信号光を多重化するための光多重化部21bとをそなえて構成されている。

【0159】また、受信機23は、送信機21から光ファイバ2、中継器22を介して伝送されてきた多重化された信号光を分離するとともに各信号光を電気信号に変換するもので、多重化された信号光を各チャンネルに分離・分配する光分離部23aと、各チャンネル毎に設けられ光分離部23aから分配されてきた当該チャンネルの信号光を電気信号に変換する光/電気変換部（O/E1～O/E4）

23bとをそなえて構成されている。

【0160】そして、本実施例では、送信機21の各電気／光変換部21aと光多重化部21bとの間に、光分散補償器ユニット25が設けられている。つまり、波長多重前の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の信号光のチャンネル毎に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bが設置されている。例えば、図28では、波長 $\lambda_1$ のチャンネルには分散量B1の光分散補償器ユニット25Aが1つだけ設けられ、波長 $\lambda_2$ のチャンネルには分散量B1の光分散補償器ユニット25Aと分散量B2の光分散補償器ユニット25Bとが1ずつ設けられ、波長 $\lambda_3$ のチャンネルには分散量B1の光分散補償器ユニット25Aが1つ且つ分散量B2の光分散補償器ユニット25Bが2つ設けられ、波長 $\lambda_4$ のチャンネルには分散量B1の光分散補償器ユニット25Aが1つ且つ分散量B2の光分散補償器ユニット25Bが3つ設けられている。

【0161】このとき、各チャンネルに配置される光分散補償器ユニット25A、25Bの設置数、組合せを選択する際には、第9、第10実施例により説明したように、各チャンネルの伝送特性が良好となるものをトライアンドエラーにより選択してもよいし、光伝送系20の分散量が測定可能であればその測定結果に基づいて信号光の分散値が伝送可能な分散値内になるものを選択してもよい。

【0162】図28では、送信機21内に光分散補償器ユニット25を設けた場合について説明したが、この光分散補償器ユニット25は、図29、図30にそれぞれ示すように、中継器22や受信機23に設けてもよい。図29に示すように、中継器22に光分散補償器ユニット25を設ける場合、中継器22には、この中継器22を構成する光増幅器22aの後段に、増幅後の信号光を各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 毎に一波ずつ波長分離する光分離部22bと、この光分離部22bにより分離された各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の信号光のチャンネル毎に適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置してなる光分散補償器ユニット25と、光分散補償器ユニット25により分散補償された各チャンネル毎の信号光を再び波長多重化して伝送路へ送出する光多重化部22cとが配置されている。なお、前述した光分離部22b、光分散補償器ユニット25および光多重化部22cは、光増幅器22aの前段に設けてもよい。

【0163】また、図30に示すように、受信機23に光分散補償器ユニット25を設ける場合、受信機23の光分離部23aと各光／電気変換部23bとの間に、光分散補償器ユニット25が設けられている。つまり、波長分離後の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の信号光のチャンネル毎に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bが設置されている。

【0164】このように、第11実施例の光分散補償方式によれば、光伝送系20が互いに波長の異なる信号光

を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合にも、各波長毎に適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置することにより、上述した第9、第10実施例と同様の作用効果が得られる。なお、上述した実施例では、多重化する信号光のチャンネル数が4で、各チャンネル毎の分散補償のために予め用意した光分散補償器ユニットが2種類である場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0165】(L)第12実施例の説明

次に、本発明の第12実施例としての光分散補償方式について説明すると、図31はそのブロック図、図32および図33はそれぞれその第1変形例および第2変形例を示すブロック図である。なお、既述の符号と同一の符号は同一部分を示しているため、その説明は省略する。

【0166】前述した第11実施例では、各波長毎に適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置する場合について説明したが、この第12実施例では、光伝送系20中で、複数波（本実施例では2波）の信号光からなるチャンネルグループ毎に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置している。

【0167】即ち、図31～図33は、それぞれ、光分散補償器ユニット25を送信機21、中継器22、受信機23に設けた例を示しており、図31に示すように、送信機21に光分散補償器ユニット25を設ける場合、前述した送信機21における光多重化部21bは、電気／光変換部21aからの波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ との信号光を多重化する光多重化部21cと、電気／光変換部21aからの波長 $\lambda_3$ と $\lambda_4$ との信号光を多重化する光多重化部21dと、これらの光多重化部21c、21dにより多重化された2つの信号光をさらに多重化する光多重化部21eとに分けられている。

【0168】そして、光多重化部21c、21dと、光多重化部21eとの間に、光分散補償器ユニット25が設けられている。つまり、2つの信号光からなるチャンネルグループ毎に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bが設置されている。例えば、図31では、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ とのチャンネルグループには分散量B1の光分散補償器ユニット25Aが1つだけ設けられ、波長 $\lambda_3$ と $\lambda_4$ とのチャンネルグループには分散量B1の光分散補償器ユニット25Aと分散量B2の光分散補償器ユニット25Bとが1ずつ設けられている。

【0169】このとき、各チャンネルグループに配置される光分散補償器ユニット25A、25Bの設置数、組合せを選択する際には、第9、第10実施例により説明したように、各チャンネルの伝送特性が良好となるものをトライアンドエラーにより選択してもよいし、光伝送系20の分散量が測定可能であればその測定結果に基づいて信号光の分散値が伝送可能な分散値内になるものを選択してもよい。

【0170】また、図32に示すように、中継器22に光分散補償器ユニット25を設ける場合、中継器22には、この中継器22を構成する光増幅器22aの後段に、増幅後の信号光を2つのチャネルグループ（波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のグループと波長 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ のグループ）に波長分離する光分離部22dと、この光分離部22dにより分離された各チャネルグループ毎に適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置してなる光分散補償器ユニット25と、光分散補償器ユニット25により分散補償された各チャネルグループ毎の信号光を再び波長多重化して伝送路へ送出する光多重化部22eとが配置されている。なお、前述した光分離部22d、光分散補償器ユニット25および光多重化部22eは、光増幅器22aの前段に設けてもよい。

【0171】さらに、図33に示すように、受信機23に光分散補償器ユニット25を設ける場合、前述した受信機23における光分離部23aは、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のチャネルグループと波長 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ のチャネルグループとに分離する光分離部23cと、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のチャネルグループをさらに各波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の信号光に分離する光分離部23dと、波長 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ のチャネルグループをさらに各 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ の信号光に分離する光分離部23eとに分けられている。

【0172】そして、光分離部23cと、光分離部23d、23eとの間に、光分散補償器ユニット25が設けられている。つまり、2つの信号光からなるチャネルグループ毎に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bが設置されている。このように、第12実施例の光分散補償方式によれば、光伝送系20が互いに波長の異なる信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合にも、チャネルグループ毎に適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置することにより、上述した第9、第10実施例と同様の作用効果が得られる。

【0173】なお、上述した実施例では、多重化する信号光のチャネル数が4で、各チャネル毎の分散補償のために予め用意した光分散補償器ユニットが2種類で、且つ、2つのチャネルグループに分ける場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。

#### (M) 第13実施例の説明

次に、本発明の第13実施例としての光分散補償方式について説明すると、図34はそのブロック図、図35および図36はそれぞれその第1変形例および第2変形例を示すブロック図である。なお、既述の符号と同一の符号は同一部分を示しているため、その説明は省略する。

【0174】前述した第11、第12実施例では、各波長毎、各チャネルグループ毎に適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置する場合について説明したが、この第13実施例では、光伝送系20中で、複数チャネル（本実施例では4チャネル）の信

号光に対し一括して、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置している。

【0175】即ち、図34～図36は、それぞれ、光分散補償器ユニット25を送信機21、中継器22、受信機23に設けた例を示しており、図34に示すように、送信機21に光分散補償器ユニット25を設ける場合、送信機21における光多重化部21bの後段に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置してなる光分散補償器ユニット25が設けられている。例えば、図34では、分散量B1の光分散補償器ユニット25Aと分散量B2の光分散補償器ユニット25Bとが1ずつ設けられている。

【0176】このとき、一括して配置される光分散補償器ユニット25A、25Bの設置数、組合せを選択する際には、第9、第10実施例により説明したように、各チャネルの伝送特性が良好となるものをトライアンドエラーにより選択してもよいし、光伝送系20の分散量が測定可能であればその測定結果に基づいて信号光の分散値が伝送可能な分散値内になるものを選択してもよい。

【0177】また、図35に示すように、中継器22に光分散補償器ユニット25を設ける場合、中継器22には、この中継器22を構成する光増幅器22aの後段に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置してなる光分散補償器ユニット25が配置されている。なお、光分散補償器ユニット25は光増幅器22aの前段に設けてもよい。

【0178】さらに、図36に示すように、受信機23に光分散補償器ユニット25を設ける場合、受信機23における光分離部23aの前段に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置してなる光分散補償器ユニット25が設けられている。このように、第12実施例の光分散補償方式によれば、光伝送系20が互いに波長の異なる信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合にも、全チャネルの信号光に対し一括して適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置することにより、上述した第9、第10実施例と同様の作用効果が得られる。

【0179】なお、上述した実施例では、多重化する信号光のチャネル数が4で、各チャネル毎の分散補償のために予め用意した光分散補償器ユニットが2種類である場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。また、上述した第10～第13実施例においては、各チャネルの波長間隔と伝送路の分散スロープ $dD/d\lambda$ とを考慮して各光分散補償器ユニットの分散値を設計し、光分散補償器ユニットの種類をできるだけ少なくすることが重要である。

#### 【0180】(N) 第14実施例の説明

次に、本発明の第14実施例としての光分散補償方式について説明すると、図37はそのブロック図、図38

(a)、(b)はいずれもその第1変形例を示すブロッ

ク図、図 39 はその第 2 変形例を示すブロック図、図 40 は第 2 変形例によるパッケージ構成例を示す図である。なお、既述の符号と同一の符号は同一部分を示しているため、その説明は省略する。

【0181】上述した第 9～第 13 実施例では、光分散補償ユニット 25、25A、25B の配置手段について説明しているが、この第 14 実施例では、各光分散補償ユニット 25、25A、25B 自体の具体的な構成例および挿入・設置手段について説明する。例えば、図 37 に示すように、光分散補償ユニット 25 を構成する各光分散補償ユニット 25A、25B の前段もしくは後段に、各光分散補償器ユニット 25A、25B による光損失を補償しうる光増幅器 26 を付加している。

【0182】ところで、光分散補償器としては、これまで、分散補償ファイバ、トランスバーサルフィルタタイプ、光共振器タイプなどが提案されている。現在、コア形状を工夫することで、分散値  $-100\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$  以上の分散補償ファイバが製作されているが、ファイバ長により分散補償量を容易に調節できる反面、光損失が大きくなってしまふ。

【0183】そこで、この第 14 実施例のように、光分散補償器ユニット 25A、25B を EDF A 等の光増幅器 26 と一体化することにより、分散補償ファイバの光損失を補償することができる。なお、図 37 では各光分散補償ユニット 25A、25B 毎に光増幅器 26 を付加したが、図 38 (a)、(b) に示すように、光分散補償器ユニット 25A、25B のグループ（光分散補償器ユニット 25）について一つの光増幅器 26 を付加するようにしてもよい。

【0184】また、図 39 に示すように、光分散補償器ユニット 25A、25B のグループ（光分散補償器ユニット 25）の前段および後段のそれぞれに光増幅器 26A、26B を付加してもよい。光増幅器が 1 段のみであると、伝送路損失と光分散補償器ユニット 25 での光損失との両方を補償する大きな利得が要求されるばかりでなく、光損失の大きい光分散補償器ユニット 25 を光増幅器 26 の前段に配置した場合は NF を大きく劣化させる原因となる。これは、特に、光増幅多中継システムにおける 1R 中継器に光分散補償器ユニット 25 を挿入する場合には避けなければならない。

【0185】そこで、図 39 に示すように、光分散補償器ユニット 25 の前後を 2 つの光増幅器 26A、26B で挟むような構成にすることにより、前段の光増幅器の NF を小さくすることで、1R 中継器全体の NF を小さく抑えることができ、且つ、2 段の光増幅器 26A、26B で十分な利得を確保することができる。一方、以上説明したような光分散補償器ユニット 25 の、送信機 21、中継器 22 もしくは受信機 23 内への挿入・設置は、例えば、次のような方式で行なわれる。送信機 21、中継器 22 もしくは受信機 23 内に、予め光分散補

償器ユニット 25 を挿入するスペースを空けておき、システム設置後に、その伝送路（光伝送系 20）に応じた最適な光分散補償器ユニット 25 を追加して組み込むことにより、光分散補償器ユニット 25 を光伝送系 20 に挿入・設置する。

【0186】また、光伝送装置内の電子部品および光部品は、一般に、プリント基板上に実装され（このようにプリント基板上に実装された形態のものをパッケージと呼んでいる）、装置架に挿抜できる構造になっている場合が多い。そこで、光分散補償器ユニットを実装した分散補償パッケージを設け、この分散補償パッケージごと挿抜する構成にしてもよい。例えば、図 39 に示した光分散補償器ユニット 25 をパッケージ化したものを図 40 に示す。この図 40 において、27 はプリント基板で、このプリント基板 27 上に、前後 2 つの光増幅器 26A、26B と、2 種類 3 個の光分散補償器ユニット 25A、25B からなる光分散補償器ユニット 25 とが実装されることにより、分散補償パッケージ 28 が構成されている。なお、各光分散補償器ユニット 25A、25B は、プリント基板 27 上に設けられた小さなボビンに分散補償ファイバ（光ファイバ 2）を所定長さ巻き付けることにより構成されている。

【0187】このような分散補償パッケージ 28 を用いることで、パッケージ単位で光分散補償器ユニット 25 の入換え・組込みを容易に行なえ、分散補償量を容易に変更することができる。

#### (O) 第 15 実施例の説明

次に、本発明の第 15 実施例としての光分散補償方式について説明すると、図 41 はそのブロック図、図 42 および図 43 はそれぞれその第 1 適用例および第 2 適用例を示すブロック図である。なお、既述の符号と同一の符号は同一部分を示しているため、その説明は省略する。

【0188】この第 15 実施例では、光伝送系 20 を構成する送信機 21、中継器 22、受信機 23 のそれぞれに、図 41 に示すような光分散補償器ユニット 32 を内蔵している。この光分散補償器ユニット 32 は、図 41 に示すように、正負符号、分散量の異なる複数種類（本実施例では 4 種類、それぞれ分散量が B1～B4）の光分散補償器ユニット 25A～25D を、スイッチ（切換手段）29A～29C を介して光分散補償器ユニット 25A～25D の組合せの切換・変更可能な状態で接続して構成されている。

【0189】そして、図 41 に示す光分散補償器ユニット 32 では、4 種類の光分散補償器ユニット 25A～25D が 3 段そなえられ、スイッチ 29A～29C の切換操作により、適当な組合せの 3 つの光分散補償器ユニット 25A～25D を選択して光伝送系 20 に挿入・設置できるようになっている。なお、スイッチ 29A～29C としては、各光分散補償器ユニット 25A～25D を光ファイバで配線する手段〔機械的な接続（機械的スイ

ッチ)〕や、光スイッチで接続経路を選択する手段などがある。光スイッチとしては、光導波路スイッチや空間切替え型スイッチ等がある。

【0190】そして、スイッチ29A~29Cの切換操作手段としては、単純に外部からの人的作業によって光ファイバの配線を変えたり光スイッチをオン/オフしたりする手段や、外部からの電気もしくは光の制御信号により自動的に行なう手段がある。次に、外部からの制御信号により、スイッチ29A~29Cを切換操作して適当な組合せの3つの光分散補償器ユニット25A~25Dを選択する場合について、より具体的な適用例を図42および図43により説明する。

【0191】制御信号により自動的に切換操作を行なう手段としては、送受信端局から各中継器22へ制御信号を送る方式のほか、図42に示す適用例では、システム全体を集中管理するセンターオフィス30から各送信機21、中継器22、受信機23における光分散補償器ユニット32の各スイッチ29A~29Cへ制御信号を送っている。

【0192】また、図43に示す適用例では、受信機23側に、各送信機21、中継器22における光分散補償器ユニット32の各スイッチ29A~29Cへ切換用の制御信号を出力する機能と、光伝送系20における伝送特性(誤り率、波形等)を測定する伝送特性測定手段31とがそなえられている。そして、各スイッチ29A~29Cを受信機23側からの制御信号により操作して光分散補償器ユニット32における光分散補償器ユニット25A~25Dの組合せを順番に切り換えながら、伝送特性測定手段31により光伝送系20の伝送特性を測定して、この光伝送系20の伝送特性が最適となる組合せの光分散補償器ユニット25A~25Dを決定し、受信機23側からの制御信号によりスイッチ29A~29Cを操作し、光分散補償器ユニット25A~25Dの組合せを、決定された光伝送系20の伝送特性が最適となる組合せに切り換える。

【0193】このように、第15実施例の光分散補償方式によれば、光伝送系20における送信機21、中継器22、受信機23に、複数種類の光分散補償器ユニット25A~25Dを、スイッチ29A~29Cを介して光分散補償器ユニット25A~25Dの組合せの切換・変更可能な状態で接続して予め内蔵しておくことにより、スイッチ29A~29Cを操作することで、光分散補償器ユニット25A~25Dの中から適当な組合せの光分散補償器ユニット25A~25Dが選択される。特に、図43に示すように構成することで、光分散補償器ユニット25A~25Dの組合せを、光伝送系20の伝送特性が最適となる組合せに自動的に切り換えることができる。

【0194】なお、上述した実施例では、光伝送系20を構成する送信機21、中継器22、受信機23のそれ

ぞれに、光分散補償器ユニット32を内蔵した場合について説明したが、光分散補償器ユニット32は、送信機21、中継器22、受信機23のうちの少なくとも一つに内蔵されていれば、上述した実施例と同様の作用効果が得られることはいうまでもない。

【0195】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明の光波長多重伝送方式(請求項1~7)によれば、以下に示すような効果ないし利点がある。

(1) FWMの影響を抑圧できるとともに、効率良く信号光を配置することで効率良く帯域を利用することができるので、高い伝送品質を維持しつつ光通信システムの大容量化を実現できる。

【0196】(2) 光アンプの帯域内、あるいは光部品の帯域内に零分散波長が位置する場合においても、制限のある帯域内でFWMの効果を抑えつつ効率良くコンパクトに信号光を配置することができる利点がある。

(3) 送信側でのチャンネル間隔の制御がファブリ・ペロ干渉計1つあるいは2つで制御でき、受信側も送信側と同特性の干渉計を使用できるので、送信側の制御を簡易なものにするとともに、選択受信が容易になる利点がある。

【0197】また、本発明の光波長多重伝送方式(請求項8~17)によれば、以下に示すような効果ないし利点がある。

(4) 光ファイバの零分散波長 $\lambda_0$ 周辺の帯域を利用したWDM方式において、FWMの影響を受けずに各チャンネルの信号光を配置できると同時に、敷設すべき光ファイバ伝送路の零分散波長 $\lambda_0$ に関する所要特性を明確にでき、光増幅多中継WDM方式における信号光のチャンネル配置法および伝送路設計法を確立できる利点がある。

【0198】(5) 光ファイバの長手方向の零分散波長ばらつきが考慮・管理されると同時に、FWMの影響が抑圧されてクロストークによる他チャンネルからの影響が抑制され、高い伝送精度を維持できる利点がある。

(6) SPM-GVD効果による波形劣化を考慮した信号光配置を行なえるほか、EDFAの利得帯域 $\Delta\lambda_{EDFA}$ 内に各チャンネルの信号光を配置することにより、各信号光パワーを等しくでき、各信号光の受信特性を等しくできる。

【0199】(7) 各チャンネルの信号光の光波長変動分に応じて信号光帯域を拡張して設定することにより、半導体レーザ等の信号光光源の製造性や波長制御精度による各信号光の変動が考慮されるとともに、光分散補償器を用いる場合には、信号光帯域を、長波長側および短波長側の両側について分散補償量ばらつき範囲だけ拡張して設定することにより、光分散補償器の分散補償量ばらつきも考慮され、より信頼性の高い光伝送を行なえる。

【0200】さらに、本発明の光分散補償方式(請求項18~32)によれば、以下に示すような効果ないし利



点がある。

(8) 個々の伝送路に応じた光分散補償器を設計・製作することなく、SPM-GVD効果による波形劣化やガードバンドについての分散量を容易に補償できるようになり、光通信システム構築までの工数削減および時間短縮を実現できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図2】本発明の第1実施例としての光波長多重伝送方式を適用される光WDM分配伝送系の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1実施例の動作を説明する図である。

【図4】本発明の第1実施例の動作を説明する図である。

【図5】本発明の第2実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図6】本発明の第3実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図7】本発明の第3実施例の動作を説明する図である。

【図8】本発明の第4実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図9】本発明の第5実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図10】本発明の第6実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図11】本発明の第6実施例の動作を説明する図である。

【図12】本発明の第6実施例の動作を説明する図である。

【図13】本発明の第7実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図14】本発明の第7実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置の変形例を示す図である。

【図15】本発明の第7実施例としての光波長多重伝送方式を適用される再生中継システムの構成を示すブロック図である。

【図16】EDFAの利得帯域を説明すべくEDFA4段接続後のASEスペクトル(EDFAの利得分布)を示すグラフである。

【図17】FWM抑圧用ガードバンドおよびチャネル配置を示す図である。

【図18】チャネル1の分散値とクロストークとの関係を示すグラフである。

【図19】光ファイバ入力パワーと再生中継器間隔との

関係を示すグラフである。

【図20】FWM発生効率の信号光波長依存性を示すグラフである。

【図21】チャネル間隔とガードバンドとの関係を示すグラフである。

【図22】本発明の第7実施例における零分散波長ばらつきに対する零分散波長と分散補償量との関係を示すグラフである。

【図23】本発明の第8実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図である。

【図24】本発明の第8実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置の変形例を示す図である。

【図25】本発明の第8実施例における零分散波長ばらつきに対する零分散波長と分散補償量との関係を示すグラフである。

【図26】本発明の第9実施例としての光分散補償方式を示すブロック図である。

【図27】本発明の第10実施例としての光分散補償方式を示すブロック図である。

【図28】本発明の第11実施例としての光分散補償方式を示すブロック図である。

【図29】本発明の第11実施例としての光分散補償方式の第1変形例を示すブロック図である。

【図30】本発明の第11実施例としての光分散補償方式の第2変形例を示すブロック図である。

【図31】本発明の第12実施例としての光分散補償方式を示すブロック図である。

【図32】本発明の第12実施例としての光分散補償方式の第1変形例を示すブロック図である。

【図33】本発明の第12実施例としての光分散補償方式の第2変形例を示すブロック図である。

【図34】本発明の第13実施例としての光分散補償方式を示すブロック図である。

【図35】本発明の第13実施例としての光分散補償方式の第1変形例を示すブロック図である。

【図36】本発明の第13実施例としての光分散補償方式の第2変形例を示すブロック図である。

【図37】本発明の第14実施例としての光分散補償方式を示すブロック図である。

【図38】(a), (b)はいずれも本発明の第14実施例としての光分散補償方式の第1変形例を示すブロック図である。

【図39】本発明の第14実施例としての光分散補償方式の第2変形例を示すブロック図である。

【図40】本発明の第14実施例の第2変形例によるパッケージ構成例を示す図である。

【図41】本発明の第15実施例としての光分散補償方式を示すブロック図である。

【図42】本発明の第15実施例としての光分散補償方式の第1適用例を示すブロック図である。

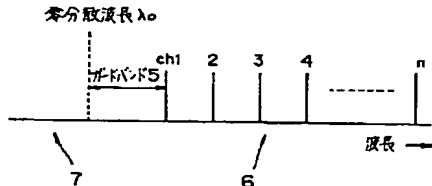
【図43】本発明の第15実施例としての光分散補償方式の第2適用例を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 送信回路
- 1 a レーザダイオード
- 1 b 合波器
- 2 光ファイバ
- 3 分配器
- 4 受信回路
- 4 a 光フィルタ
- 4 b 制御回路
- 4 c 検出器
- 5 四光波混合 (FWM) 抑圧用ガードバンド
- 6 長波長側
- 7 短波長側
- 10 光伝送系 (再生中継システム)
- 11 送信機
- 12 インライン中継器
- 13 再生中継器
- 14 受信機

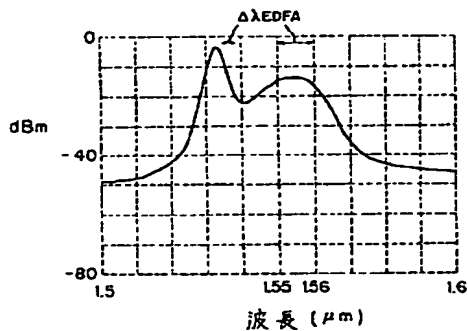
【図1】

本発明の第1実施例としての光波長分散伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



【図16】

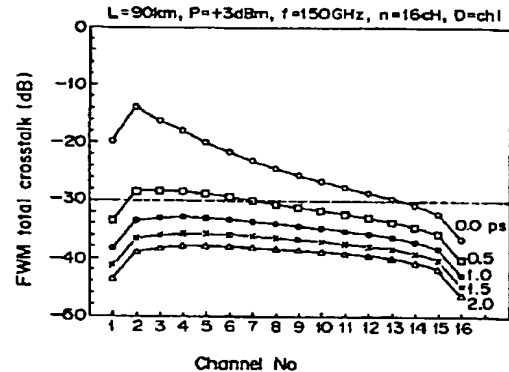
EDFAの利得帯域を説明する(EDFA 4段階増幅のASEスペクトル(EDFAの利得帯域)を示すグラフ



- 20 光伝送系
- 21 送信機
- 21 a 電気/光変換部
- 21 b ~ 21 e 光多重化部
- 22 中継器
- 22 a 光増幅器
- 22 b, 22 d 光分離部
- 22 c, 22 e 光多重化部
- 23 受信機
- 10 23 a, 23 c ~ 23 e 光分離部
- 23 b 光/電気変換部
- 24 A, 24 B, 25, 25 A ~ 25 D 光分散補償器
- ユニット
- 25 a ポビン
- 26, 26 A, 26 B 光増幅器
- 27 プリント基板
- 28 分散補償パッケージ
- 29 A ~ 29 C スイッチ (切換手段)
- 30 センターオフィス (CO)
- 20 31 伝送特性測定手段
- 32 光分散補償器ユニット

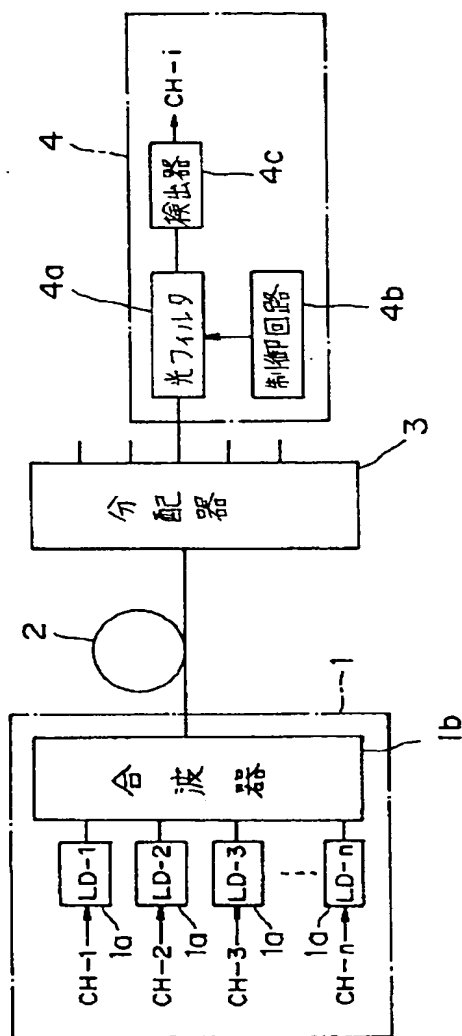
【図3】

本発明の第1実施例の動作を説明する図



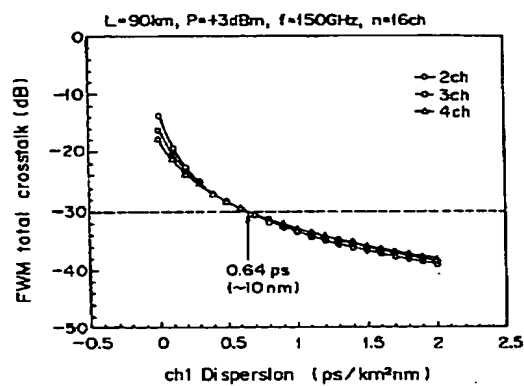
【図 2】

本発明の第1実施例としての光波長多重伝送方式を適用される光WDM分配伝送系の構成を示すブロック図



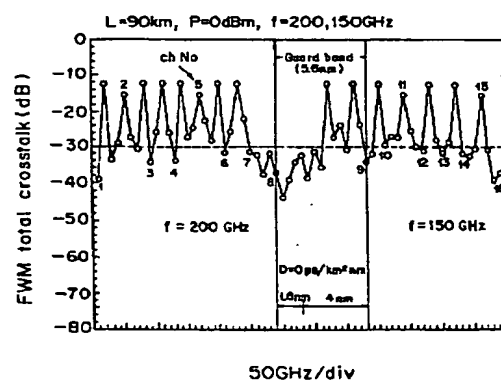
【図4】

本発明の第1実施例の動作を説明する図



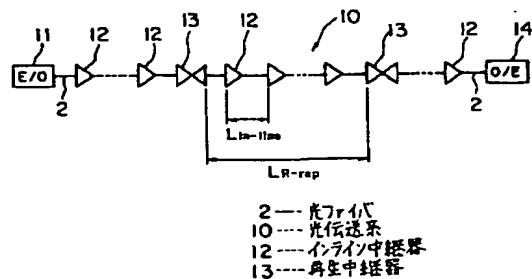
【図 7】

本発明の第3実施例の動作を説明する図



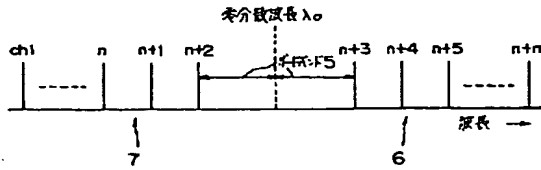
【图 15】

本発明の第 7 実施例としての光波長多重伝送方式を適用せし再生中継システムの構成を示すブロック図



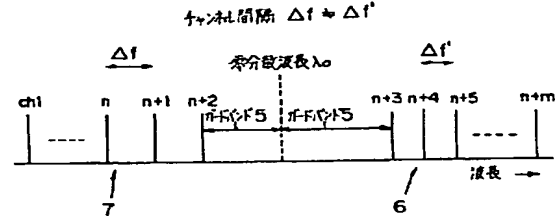
【図5】

本発明の第2実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



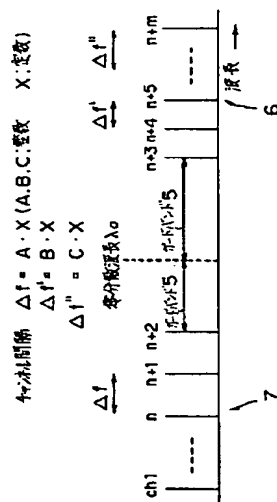
【図6】

本発明の第3実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



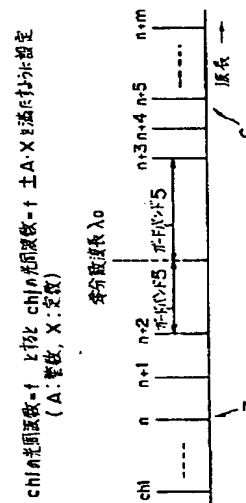
【図8】

本発明の第4実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



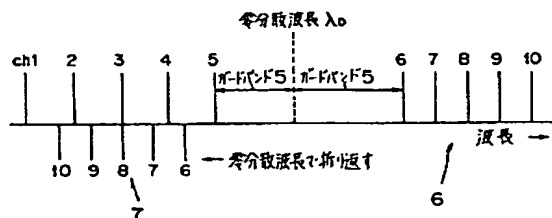
【図9】

本発明の第5実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



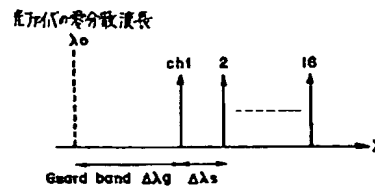
【図10】

本発明の第6実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



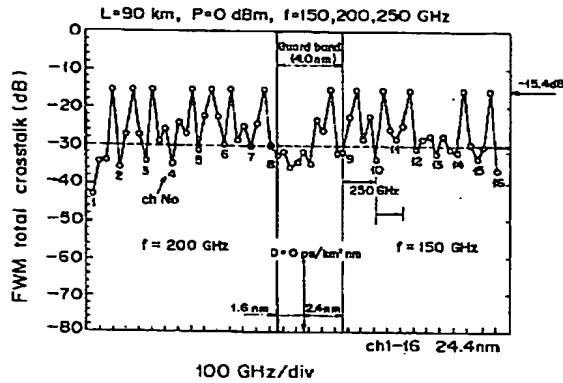
【図17】

FWM 抑圧用ガードバンドおよびチャネル配置を示す図



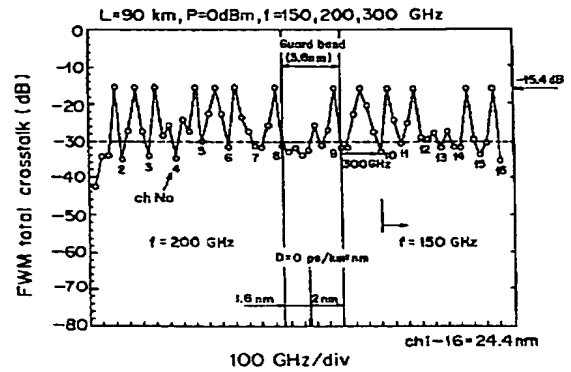
【図11】

本発明の第6実施例の動作と説明図



【図12】

本発明の第6実施例の動作と説明図

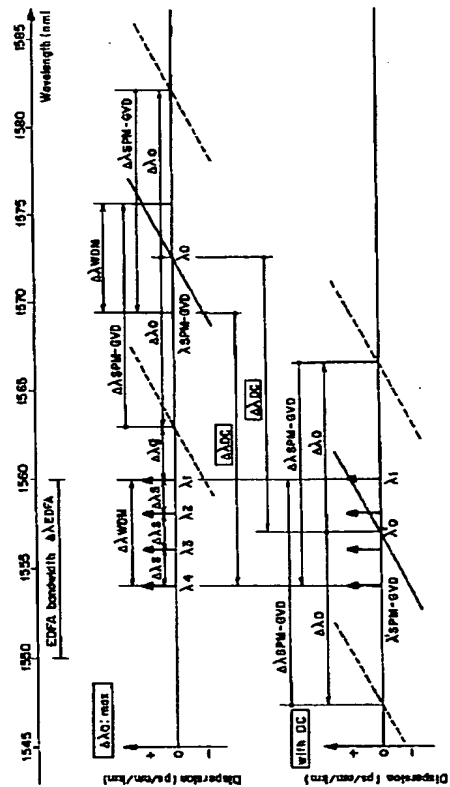
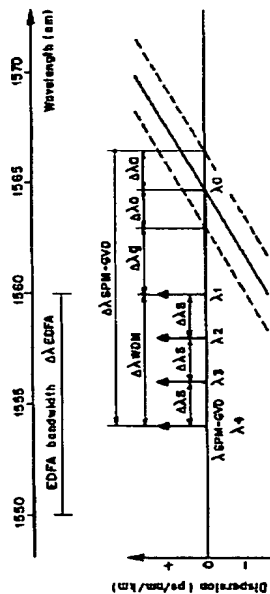


【図14】

本発明の第7実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置の変形例を示す図

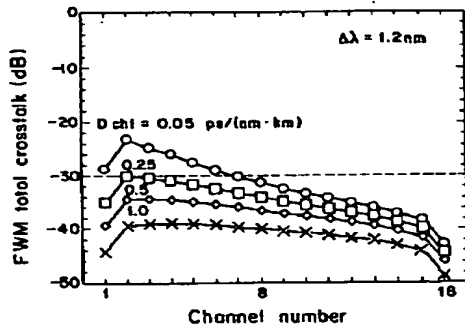
【図13】

本発明の第7実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



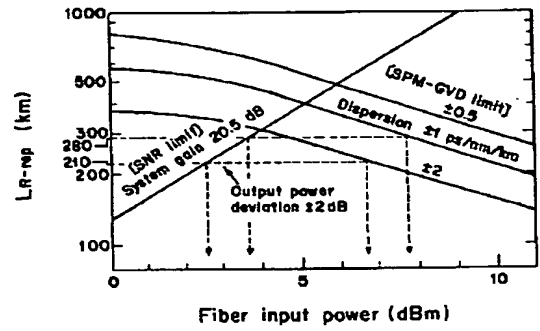
【図 18】

チャネル1の分散値とリロス・リとの関係を示すグラフ



【図 19】

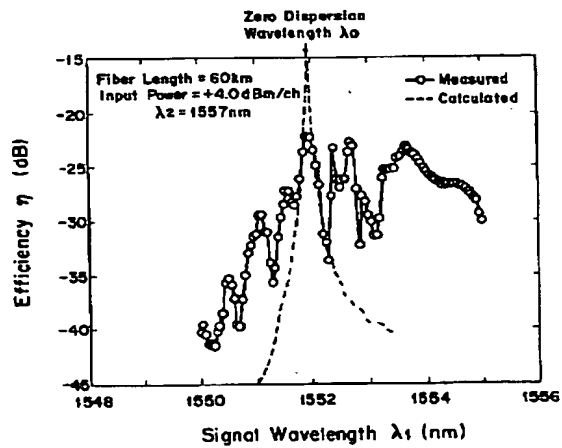
光ファイバ入力パワーと再生中継器間隔との関係を示すグラフ



10 Gb/s  
 $L_{in-lim} = 70 \text{ km}$   
 Pre-chirping  $\alpha = \pm 1$   
 $NF = 8 \text{ dB}$

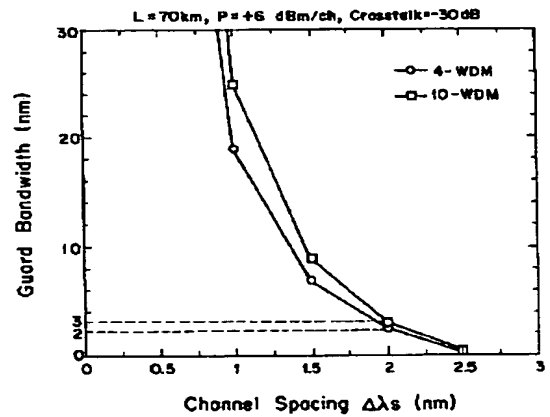
【図 20】

FWM 発生効率の信号光波長依存性を示すグラフ



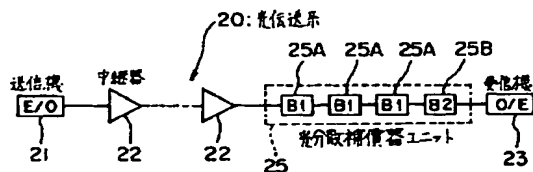
【図 21】

チャネル間隔とガードバンドとの関係を示すグラフ



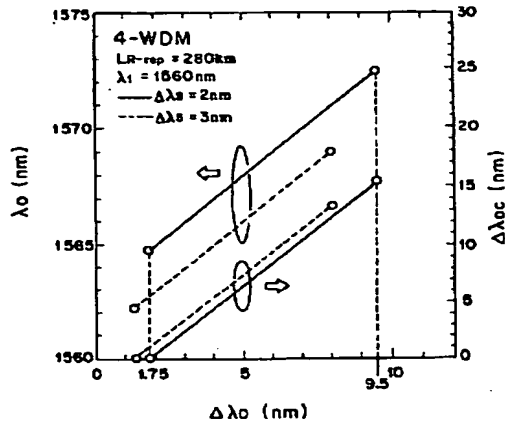
【図 27】

本発明の第10実施例としての光分散補償方式を示すブロック図



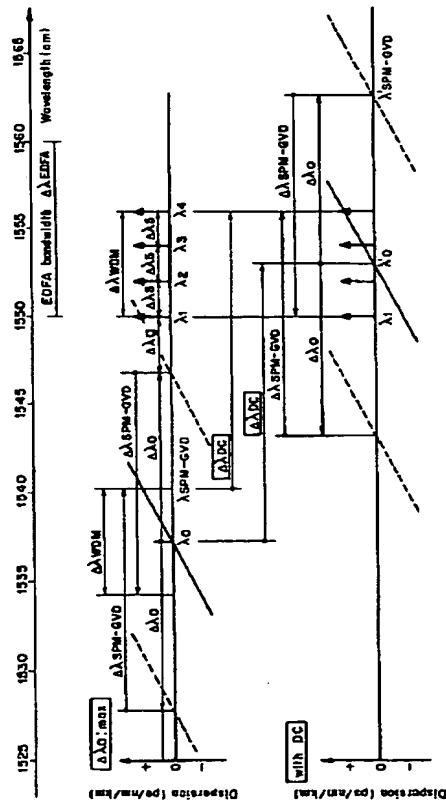
【図 22】

本発明の第 7 実施例における零分散波長ばらつきに対する零分散波長と分散補償量との関係を示すグラフ



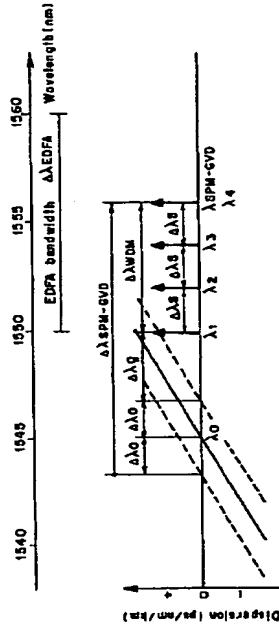
【図 24】

本発明の第 8 実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置の変形例を示す図



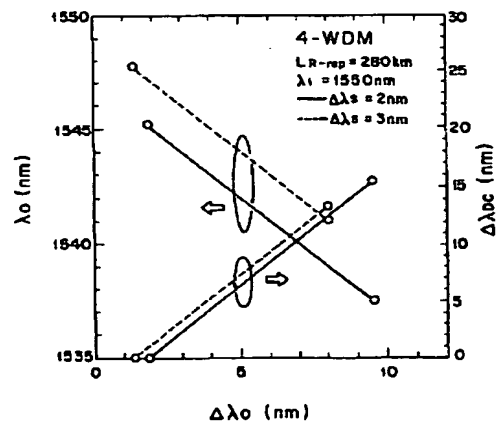
【図 23】

本発明の第 8 実施例としての光波長多重伝送方式における複数チャネルの信号光配置を示す図



【図 25】

本発明の第 8 実施例における零分散波長ばらつきに対する零分散波長と分散補償量との関係を示すグラフ

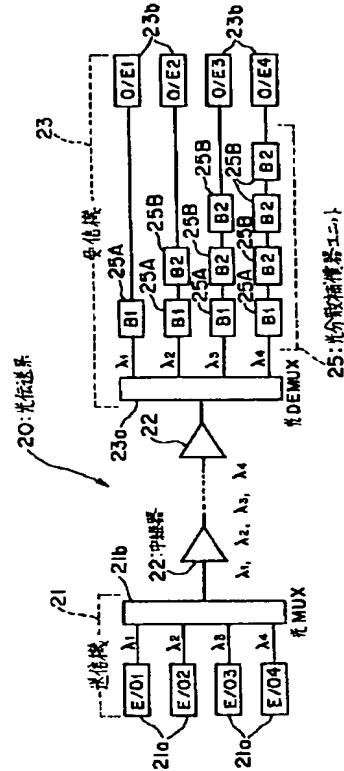






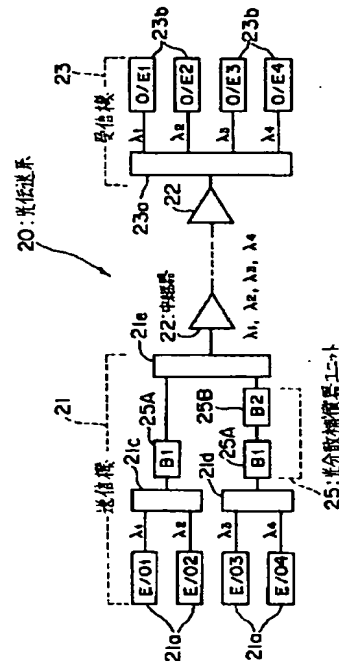
【図30】

本発明の第11実施例としての光分散補償方式の第2変形例を示すブロック図



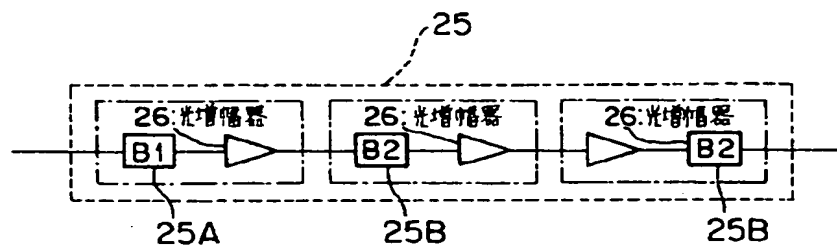
【図31】

本発明の第12実施例としての光分散補償方式を示すブロック図



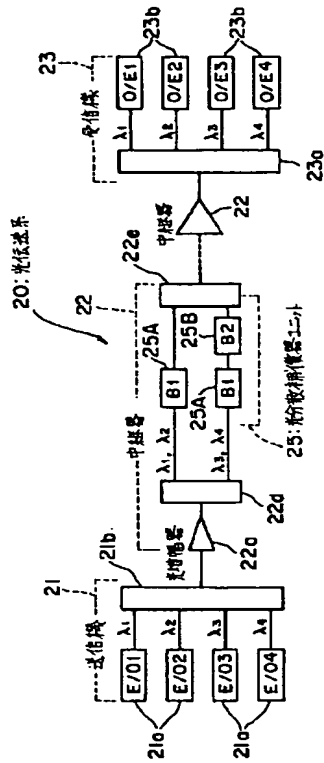
【図37】

本発明の第14実施例としての光分散補償方式を示すブロック図



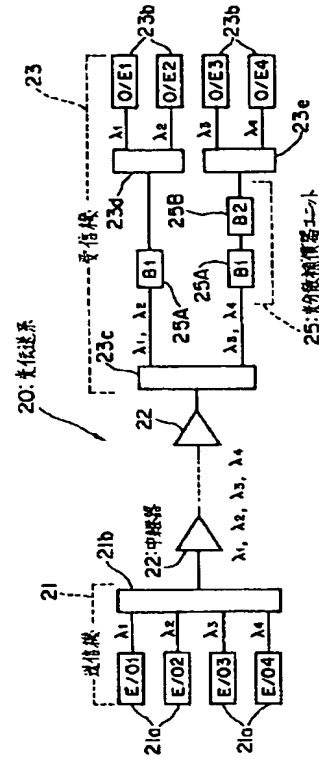
【図 3 2】

本発明の第 12 実施例としての光分散補償方式の第 1 変形例を示すブロック図



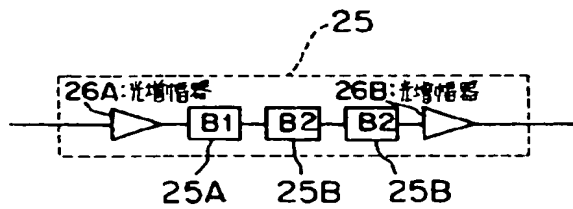
【図 3 3】

本発明の第 12 実施例としての光分散補償方式の第 2 変形例を示すブロック図



【図 3 9】

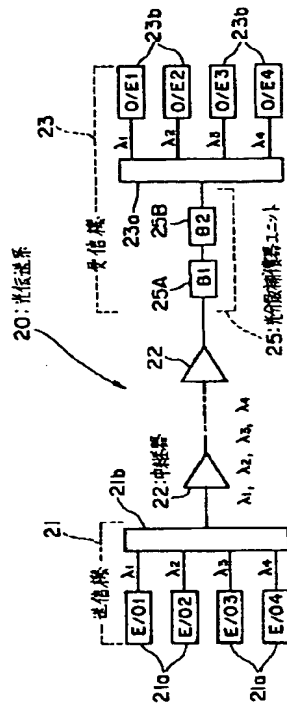
本発明の第 14 実施例としての光分散補償方式の第 2 変形例を示すブロック図





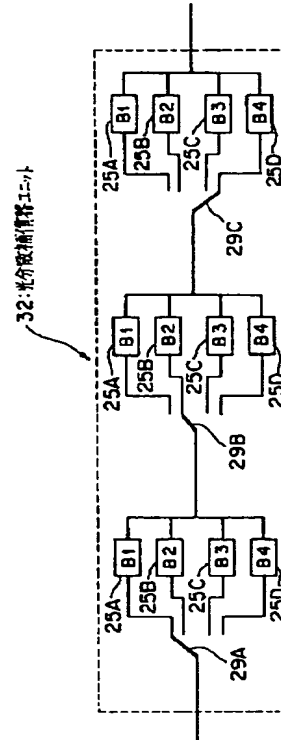
【図 36】

本発明の第 13 実施例としての光分散補償方式の第 2 変形例を示すブロック図



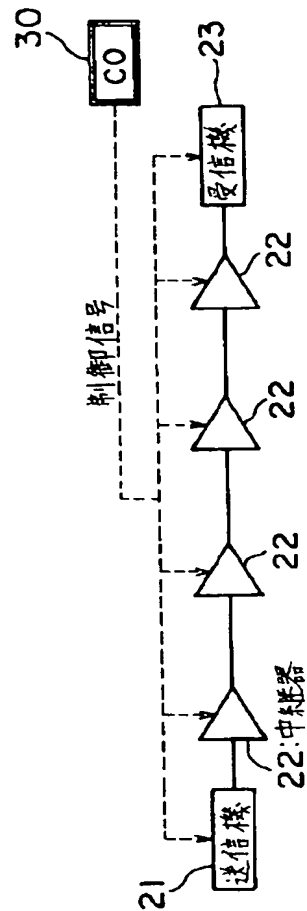
【図 41】

本発明の第 15 実施例としての光分散補償方式を示すブロック図



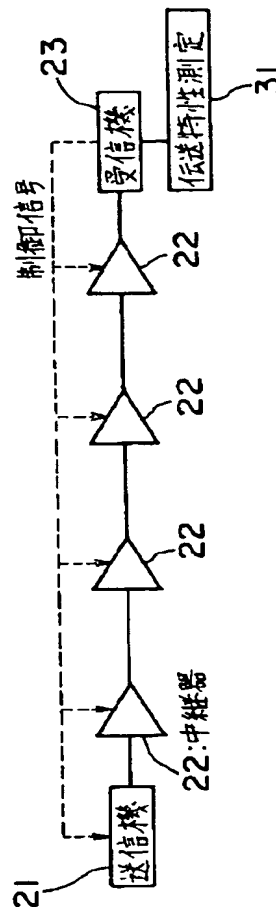
【図 4 2】

本発明の第 15 実施例としての光分散補償方式の  
第 1 適用例を示すブロック図



【図 4 3】

本発明の第 15 実施例としての光分散補償方式の  
第 2 適用例を示すブロック図



## 【手続補正書】

【提出日】平成 6 年 5 月 24 日

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0070

【補正方法】変更

【補正内容】

【0070】光ファイバ 2 により伝送された信号光は、分配器 3 にて分離されて、各チャネルに対応した受信回路 4 に入力され、入力チャネルに対応した周波数（波長）の信号光として検出される。このとき、例えば、送

信回路 1 のチャネル数を 16 ( $n=16$ )、チャネル間隔を 150GHz、光ファイバ 2 の長さ  $L$  を 90km、1 チャネル当たりの光入力パワー  $P$  を +3dBm としたシステムの場合には、各チャネルのクロストーク量の計算結果は図 3 に示す通りである。この計算に用いたパラメータは、 $\chi_{1111}=5.0 \times 10^{-15} \text{ cm}^3/\text{erg(esu)}$ 、 $A_{eff}=4.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 、 $\alpha=5.2958 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$  (0.23dB/km)、 $dD/d\lambda=0.065 \text{ ps}/(\text{km} \cdot \text{nm}^2)$  となっている。

## 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0071

【補正方法】変更

【補正内容】

【0071】この図3において、図中の‘0.0ps’等の記載は、CH1（チャンネル番号1）での分散の値である。チャンネル番号（CH No.）が増えるにつれ分散値は分散スロープ $dD/d\lambda$ に従って大きくなる。図3に示す結果より、CH2、CH3、CH4でのクロストーク量が最も大きなものとなる。これらのCH2、CH3、CH4に注目して計算した結果を図4に示す。この図4に示すように、例えば、クロストーク量を30dB以下に抑えるためには、CH1の分散値を0.64ps/(nm·km)以上にすればよく、例えば $dD/d\lambda = 0.065\text{ps}/(\text{km} \cdot \text{nm}^2)$ とすると、CH1を零分散波長 $\lambda_0$ から約10nm離せばよく、10nmのガードバンド5を設定すればよいことになる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0102

【補正方法】変更

【補正内容】

【0102】この図18に示すように、各チャンネルに重畳されるFWM光の組合せ数は、中心の7、8チャンネルで最大になるが、各チャンネルでの分散値が異なるために、チャンネル2～4でクロストーク量が最大となる（これは第1実施例において図3により説明したものと同様の結果である）。所要クロストーク量を-30dBとすると、チャンネル1の分散値 $D_{ch1}$ を0.25ps/(km·nm)以上にすることがある。つまり、零分散波長 $\lambda_0$ とチャンネル1の波長 $\lambda_1$ との波長間隔を3.8nm以上とる必要があり、これを本実施例のFWM抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ と呼ぶ。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0112

【補正方法】変更

【補正内容】

【0112】また、本実施例では、光ファイバ2中での\*

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}} &= |D_{\text{allow}}| / (dD/d\lambda) \\ &= 1(\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})) / 0.08(\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})) = 12.5\text{nm} \\ \Delta\lambda_0 &= (\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}} - \Delta\lambda_{\text{WDM}} - \Delta\lambda_g) / 2 = 1.75\text{nm}\end{aligned}$$

$$\lambda_0 = \lambda_1 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g = 1564.75\text{nm}$$

以上の数値は、ばらつき $\Delta\lambda_0$ が最小の場合のものである。なお、分散スロープ $dD/d\lambda$ が小さいほど、 $\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}}$ が大きくなり、ばらつき $\Delta\lambda_0$ を大きく許容することができるようになる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0119

【補正方法】変更

\*SPM-GVD効果により決定される許容分散値 $D_{\text{allow}}$

により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}}$ 内に、4つのチャンネルの信号光が配置されている。つまり、図13に示すように、伝送可能な信号光波長範囲は、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の長波長端 $(\lambda_0 + \Delta\lambda_0)$ から短波長側へ、 $\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}} = |D_{\text{allow}}| / (dD/d\lambda)$ 以内の領域である。このとき、4波とも伝送可能で且つ零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ をできるだけ大きく許容するために、波長 $\lambda_{\text{SPM-GVD}} = (\lambda_0 + \Delta\lambda_0) - \Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}}$ とチャンネル4の波長 $\lambda_4$ とが一致するように設定されている。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0116

【補正方法】変更

【補正内容】

【0116】そして、図13に示すように、EDFAの利得帯域(1550～1560nm)を有効利用するため、チャンネル1の波長 $\lambda_1$ を利得帯域の長波長端である1560nmに設定する。このとき、波長 $\lambda_1$ は、前述した通りDSFの零分散波長 $\lambda_0$ から短波長側に $(\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g)$ だけ離れた波長となる。また、図19より、再生中継器13の間隔 $L_{R-reg} = 280\text{km}$ であるための許容分散値 $D_{\text{allow}}$ は $-1\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ であるので、伝送可能な信号光波長範囲は、前述した通り、波長 $(\lambda_0 + \Delta\lambda_0)$ から短波長側へ、 $\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}} = |D_{\text{allow}}| / (dD/d\lambda)$ 以内の領域であり、4波とも伝送可能で且つ零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ をできるだけ大きく許容するために、波長 $(\lambda_0 + \Delta\lambda_0) - \Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}}$ とチャンネル4の波長 $\lambda_4$ とが一致するように設定する。これらの条件から、 $\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}}$ 、 $\Delta\lambda_0$ 、 $\lambda_0$ の各値は次のように規定される。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0117

【補正方法】変更

【補正内容】

【0117】

【補正内容】

【0119】即ち、まず、図14の上段に示すように、光ファイバ2中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値 $D_{\text{allow}}$ により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}}$ 外に、4つのチャンネルの信号光を配置してから、図14の下段に示すように、光分散補償器を用いて光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ を $\lambda_0'$ にシフトさせることにより、4つのチャンネルの信号光を見かけ上、伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{\text{SPM-GVD}}$ 内に配置している。

## 【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0121

【補正方法】変更

【補正内容】

【0121】そして、光分散補償器により実際の零分散波長 $\lambda_0$ を $\Delta\lambda_{oc}$ だけ短波長側にシフトさせることにより、図14の下段に示すように、4つのチャネルの信号光を、見かけ上、伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ 内に配置している。なお、図14中には図示しないが、半導体レーザ（信号光の光源）の製造性や波長制御精度による各信号光の波長変動分を考慮する場合には、その変動分に応じて、複数チャネルの信号光を配置する帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ を拡張して設定する。

## 【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0124

【補正方法】変更

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{oc} &= (2 \cdot \Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_{SPM-GVD}) + \Delta\lambda_g + \Delta\lambda_{WDM} \\ &= (2 \times 9.5 - 12.5) + 3 + 6 = 15.5 \text{ nm}\end{aligned}$$

光分散補償器としては、高分散、低損失、小型化が求められており、これまで分散補償ファイバ、トランスパースルフィルタタイプ、光共振器タイプ等が提案されているが、例えば、本発明において第9～第15実施例により後述する光分散補償方式を適用されるものを用いる。

## 【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0133

【補正方法】変更

【補正内容】

【0133】即ち、図23に示すように、光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ と光ファイバ2の長手方向の零分散波長ばらつき $\pm\Delta\lambda_0$ とを考慮し、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の長波長端（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ ）よりも長波長側に、多重化すべき4つのチャネルの信号光を等間隔 $\Delta\lambda_s$ で配置している。このとき、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の長波長端（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0$ ）よりも長波長側には、FWM抑圧用ガードバンド $\Delta\lambda_g$ を設け、波長（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）よりもさらに長波長側に、4つのチャネルの信号光（チャネル1～4で波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ ）を配置している。本実施例では、チャネル1の波長 $\lambda_1$ は、DSF（光ファイバ2）の零分散波長 $\lambda_0$ から長波長側に（ $\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）だけ離れた位置に設定されている〔波長（ $\lambda_0 + \Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_g$ ）がチャネル1の波長 $\lambda_1$ と一致するように設定されている〕。

## 【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0134

【補正方法】変更

## \* 【補正内容】

【0124】図14の下段に示すように、零分散波長ばらつきの下限から長波長側へ $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ の範囲と零分散波長ばらつきの下限から短波長側へ $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ の範囲とが重なった領域と、信号光帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ とが一致するとき、零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ を最大に許容することができる。つまり、

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_0(\text{max}) &= (2 \cdot \Delta\lambda_{SPM-GVD} - \Delta\lambda_{WDM}) / 2 \\ &= (2 \times 12.5 - 6) / 2 = 9.5 \text{ nm}\end{aligned}$$

となり、このとき、分散補償後の見かけの零分散波長 $\lambda_0'$ は、信号光帯域 $\Delta\lambda_{WDM}$ の中心に位置する。

## 【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0126

【補正方法】変更

【補正内容】

【0126】このとき、分散補償波長シフト量 $\Delta\lambda_{oc}$ は、 $\lambda_0 - \lambda_0'$ であり、以下のように求められる。

\*  $\Delta\lambda_{oc} = (\lambda_0 - \lambda_0') = (2 \cdot \Delta\lambda_{SPM-GVD} - \Delta\lambda_{WDM}) / 2$

## 【補正内容】

【0134】また、本実施例では、光ファイバ2中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値 $D_{allow}$ により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ 内に、4つのチャネルの信号光が配置されている。つまり、図23に示すように、伝送可能な信号光波長範囲は、光ファイバ2についての零分散波長ばらつき範囲の短波長端（ $\lambda_0 - \Delta\lambda_0$ ）から長波長側へ、 $\Delta\lambda_{SPM-GVD} = |D_{allow}| / (dD/d\lambda)$  以内の領域である。このとき、4波とも伝送可能で且つ零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ をできるだけ大きく許容するために、波長 $\lambda_{SPM-GVD} = (\lambda_0 - \Delta\lambda_0) + \Delta\lambda_{SPM-GVD}$ とチャネル4の波長 $\lambda_4$ とが一致するように設定されている。

## 【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0137

【補正方法】変更

【補正内容】

【0137】即ち、まず、図24の上段に示すように、光ファイバ2中でのSPM-GVD効果により決定される許容分散値 $D_{allow}$ により規定される伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ 外に、4つのチャネルの信号光を配置してから、図24の下段に示すように、光分散補償器を用いて光ファイバ2の零分散波長 $\lambda_0$ を $\lambda_0'$ にシフトさせることにより、4つのチャネルの信号光を、見かけ上、伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ 内に配置している。

## 【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0139

【補正方法】変更



## 【補正内容】

【0139】そして、光分散補償器により実際の零分散波長 $\lambda_0$ を $\Delta\lambda_{oc}$ ( $=\lambda_0' - \lambda_0$ )だけ長波長側にシフトさせることにより、図24の下段に示すように、4つのチャネルの信号光を、見かけ上、伝送可能帯域 $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ 内に配置している。なお、図24においても、第7実施例の図14にて説明したように、零分散波長ばらつきの下限から長波長側へ $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ の範囲と零分散波長ばらつきの下限から短波長側へ $\Delta\lambda_{SPM-GVD}$ の範囲とが重なった領域と、信号光帯域 $\Delta\lambda_{DOM}$ とを一致させ、零分散波長ばらつき $\Delta\lambda_0$ を最大に許容できる場合について図示されている。

## 【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0178

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0178】さらに、図36に示すように、受信機23に光分散補償器ユニット25を設ける場合、受信機23における光分離部23aの前段に、適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置してなる光分散補償器ユニット25が設けられている。このように、第13実施例の光分散補償方式によれば、光伝送系20が互いに波長の異なる信号光を多重化して伝送する光波長多重伝送を行なう場合にも、全チャネルの信号光に対し一括して適当な設置数、組合せの光分散補償器ユニット25A、25Bを設置することにより、上述した第9、第10実施例と同様の作用効果が得られる。

## 【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0181

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0181】上述した第9～第13実施例では、光分散補償ユニット24A、24B、25、25A、25Bの配置手段について説明しているが、この第14実施例では、各光分散補償ユニット25、25A、25B自体の具体的な構成例および挿入・設置手段について説明する。例えば、図37に示すように、光分散補償ユニット25を構成する各光分散補償ユニット25A、25Bの前段もしくは後段に、各光分散補償器ユニット25A、25Bによる光損失を補償しうる光増幅器26を付加している。

## 【手続補正17】

【補正対象書類名】図面

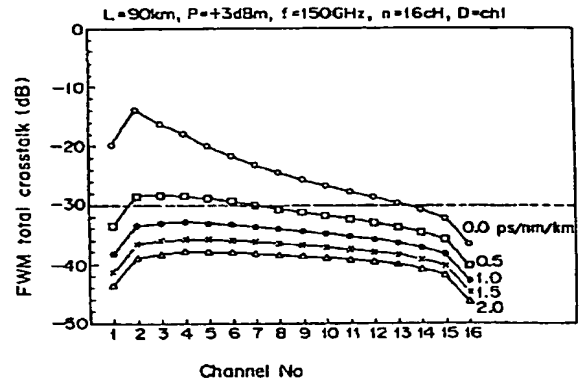
【補正対象項目名】図3

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【図3】

## 本発明の第1実施例の動作を説明する図



## 【手続補正18】

【補正対象書類名】図面

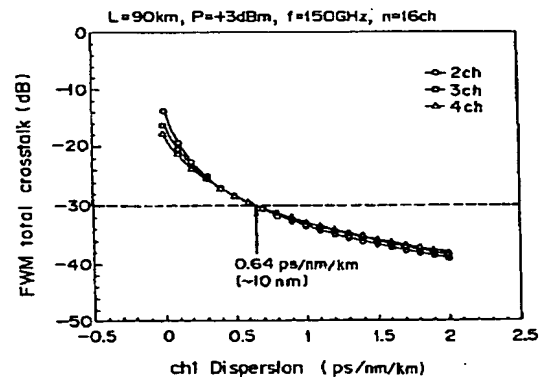
【補正対象項目名】図4

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【図4】

## 本発明の第1実施例の動作を説明する図



## 【手続補正19】

【補正対象書類名】図面

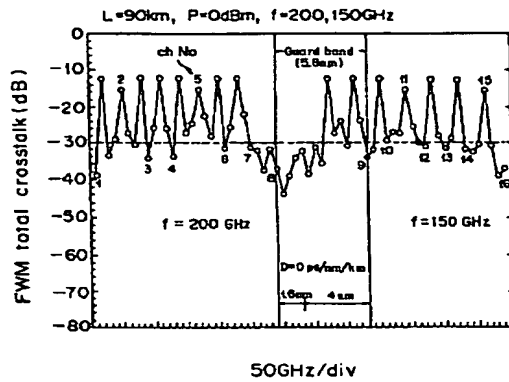
【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【図7】

本発明の第3実施例の動作と説明図



【手続補正 20】

【補正対象書類名】図面

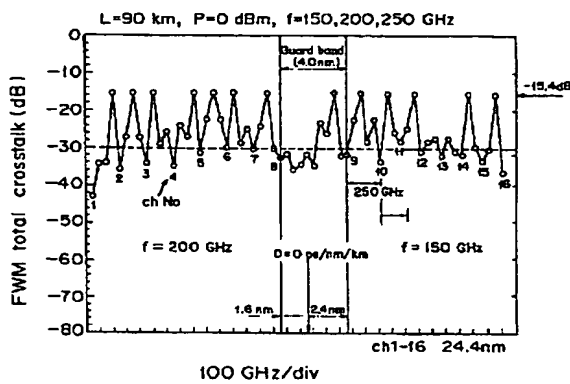
【補正対象項目名】図 1 1

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 1 1】

本発明の第6実施例の動作と説明図



【手続補正 2 1】

【補正対象書類名】図面

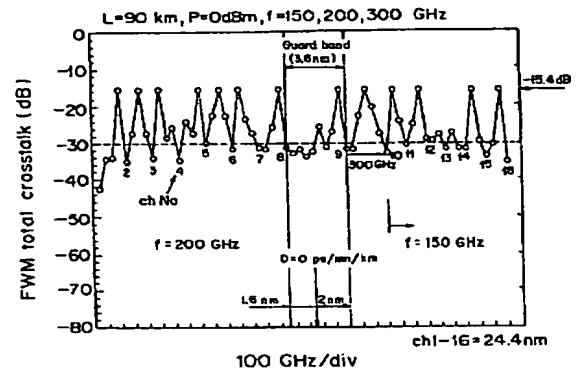
【補正対象項目名】図 1 2

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 1 2】

本発明の第6実施例の動作と説明図



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 4 B 10/18

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

(72)発明者 関屋 元義

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士 通株式会社内

(72)発明者 大塚 和恵

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士 通株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**